

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
ІНЖИНІРИНГ**

№ 2(13), 2023

DOI:10.30857/2786-5371.2023.2

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2023

Засновником видання «Технології та інжиніринг» є

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Вісник Київського національного університету технологій та дизайну», який у свою чергу був правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР).

№ 2(13), 2023

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002 р.

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.

Наказ МОН України від 29.06.2021 №735 (додаток 3). Категорія Б. Технічні науки. Спеціальності: 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print

ISSN 2786-538X online

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція)

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

Засновник і видавець:

Київський національний університет технологій та дизайну
Україна, 01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2

Головний редактор:

Панасюк І.В., д.т.н., професор

Заступник

головного редактора:

Злотенко Б. М., д.т.н., професор

**Відповідальний
секретар:**

Кривонос О. О.

Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»: Інформаційні технології, електроніка, механічна та електрична інженерія. Матеріалознавство індустрії моди, технологій виробництва текстилю, одягу та взуття. Хімічні та біофармацевтичні технології.

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська, 2, корп. 1, к. 1-347

тел./факс: +38 (044) 256-21-39

e-mail: vistnuk@knutd.edu.ua; <http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 9 від 26.04.2023 р.

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

TECHNOLOGIES AND ENGINEERING

Issue 2(13), 2023

DOI:10.30857/2786-5371.2023.2

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2023

The owner of «Technologies and Engineering» is

KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition "Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design", which in turn was the legal successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR).

№ 2(13), 2023

The state registration of print media is KB № 24822-14762 IIP, originating date 19.04.2021

License for publishing activity is ДК №993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine: №735 dated 29.06.2021 "Technologies and Engineering" in the list of professional publications: cat. B, technical specialties – 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (from 2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print
ISSN 2786-538X online

The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

Owner and Publisher:

Kyiv National University of Technologies and Design
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenko, Str.

Editor-in- Chief:

Igor V. Panasiuk - Dr., professor

Deputy Editor:

Borys M. Zlotenko - Dr., professor

Executive secretary:

Olena O. Kryvonos

Scientific fields: Information technologies, electronics, mechanical and electrical engineering. Material science in the textile, clothing and footwear manufacturing industries. Chemical and biopharmaceutical technologies.

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

EDITORIAL OFFICE:

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Mala Shyianovska, Str., office 1-347

Tel./fax: +38 (044) 256-21-39

e-mail: vistnuk@knutd.edu.ua; <http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 9, originating date 26.04.2023.

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

**ВІДОМОСТІ ПРО ЧЛЕНІВ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ
наукового фахового журналу
«ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ»
"TECHNOLOGIES AND ENGINEERING"**

Панасюк Ігор Васильович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *головний редактор*, ORCID: 0000-0001-7572-4757.

Злотенко Борис Миколайович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник головного редактора*, ORCID: 0000-0002-0870-8535.

**СЕКЦІЯ: ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА,
МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ**

Шведчикова Ірина Олексіївна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*, ORCID: 0000-0003-3005-7385.

Осипенко Володимир Васильович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0002-1077-1461.

Білоус Інна Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID: 0000-0002-6640-103x.

Денисюк Сергій Петрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, ORCID: 0000-0002-2134-254X.

Жуйков Валерій Якович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, ORCID: 0000-0002-3338-2426.

Мілих Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, ORCID: 0000-0002-6176-3103.

Стаценко Володимир Володимирович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-3932-792X.

Суходуб Ірина Олегівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID: 0000-0002-5895-1306.

Чорний Олексій Петрович – доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна, ORCID: 0000-0001-8270-3284.

Шавьолкін Олександр Олексійович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-3914-0812.

Andrzej Borusiewicz – D.Sc., Associate Professor, International University of Applied Sciences in Lomza, Poland, ORCID: 0000-0002-1407-7530.

Jasim Mohmed – Docent, PhD, Al-Furat Al-Awsat Technical University – Al-Musssaib Technical college, Kufa, Ira, ORCID: 0000-0002-2983-416X.

Juraj Gerlici – Prof., Dr. Ing., University of Žilina, Slovak Republic. ORCID: 0000-0003-3928-0567

Kateryna Kravchenko – PhD, University of Žilina, Slovak Republic. ORCID: 0000-0002-3775-6288

Kay Berkling – Prof. Ph.D., Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Karlsruhe. Germany. ORCID: 0000-0003-1186-5678

Mirosław Skibniewski – Prof., Ph.D., Dr.h.c., Honor. Prof., Department of Civil & Environmental Engineering A. James Clark School of Engineering University of Maryland, College Park, USA, ORCID: 0000-0002-7102-753X.

**СЕКЦІЯ: МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ**

Галавська Людмила Євгеніївна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*, ORCID: 0000-0002-6994-6641.

Березненко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0002-1042-6369.

Арабулі Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID 0000-0003-1049-8255.

Гараніна Ольга Олександрівна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0002-4715-3851.

Кизимчук Олена Павлівна – доктор технічних наук, професор, Дрезденський технічний університет, Німеччина, ORCID: 0000-0002-8874-8931.

Очеретна Лариса – PhD, доцент, Люберецький технічний університет, Чеська республіка, ORCID 0000-0003-4296-410X.

Первая Наталія Володимирівна, доктор технічних наук, професор Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-5086-3926

Редько Яна Володимирівна, доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-7284-6898

Славінська Алла Людвигівна – доктор технічних наук, професор, Хмельницький національний університет, Україна, ORCID: 0000-0003-0663-9422.

Хімичева Анна Іванівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-3737-7341.

СЕКЦІЯ: ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Плаван Вікторія Петрівна – доктор хімічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*, ORCID: 0000-0001-9559-8962.

Мокроусова Олена Романівна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0003-1943-8048.

Андреева Ольга Адіславівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8374-2306.

Бессарабов Володимир Іванович, доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-0637-1729.

Будаш Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8718-1577.

Галстян Андрій Генрійович, доктор хімічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8475-8166

Іщенко Олена Володимирівна, доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-9510-6005

Кузьмінський Євген Васильович – доктор хімічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, ORCID: 0000-0002-5632-8297.

Левицький Володимир Євстахович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, ORCID: 0000-0003-1323-1943.

Савченко Богдан Михайлович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-8636-5734.

Скорохода Володимир Йосипович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, ORCID: 0000-0002-2352-5964.

Страшний Владислав Володимирович – доктор фармацевтичних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-9188-1821.

Хоменко Володимир Григорович – доктор технічних наук, доцент, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-0013-8010.

Valeika Virgilijus – professor, PhD, Department of Physical and Inorganic Chemistry, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, ORCID: 0000-0003-4974-7626.

Кривонос Олена Олександрівна – відповідальний секретар.

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА, МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

1. **АЛЛАХВЕРДІЄВ Е. Н.**
Вибір передавачів методом нечіткої логіки 9
2. **ДЕНІСОВ Р. В., ОНИКІЄНКО Ю. О.**
Особливості розпізнавання зображень нейронними мережами на
прикладі MobilenetV1 та MobilenetV2 в системах на
мікроконтролерах 15
3. **ДЕШКО В. І., БІЛОУС І. Ю., БУЯК Н. А., САПУНОВ А. О.**
Підвищення рівня ефективності споживання енергії в дитячому садку,
та його вплив на рівень теплового комфорту 27
4. **КОЗАК А. В., КОРЖИК О. В.**
Удосконалення систем шумопеленгування БПЛА з використанням
векторно-фазових методів та наднаправленості 36
5. **ПАНАСЮК О. І., ПЛЕСКАЧ В. Л., МОЛЧАНОВ Б. С.**
Розширення функціоналу онлайн комунікації медичної інформаційної
системи HELSI 50
6. **ХРИСТОВА А. Р., ЗОСІМОВ В. В., БУЛГАКОВА О. С.**
Програмні рішення для ефективного управління фінансами та
відстеження бізнес-показників 65

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

7. **БІЛОУСОВА А. О.**
Вплив світлостабілізаторів та нанорозмірних частинок діоксиду
кремнію на швидкість деструкції полімерних покриттів під дією УФ-
випромінювання 77
8. **ВАХІТОВА Л. М., ТАРАН Н. А., КОРОТКИХ М. І.,
ВАХІТОВ Р. А., БЕССАРАБОВ В. І., ПОПОВ А. Ф.**
Окислювально-нуклеофільні системи для розкладання отруйних
речовин шкірно-наривної та нервово-паралітичної дії 85

TABLE OF CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGIES, ELECTRONICS, MECHANICAL AND ELECTRICAL ENGINEERING

1. **ALLAHVERDIYEV E. N.**
The selection of transmitters using fuzzy logic method 9
2. **DENISOV R. V., ONYKIIENKO Yu. O.**
Peculiarities of image recognition by neural networks on the example of MobileNetV1 and MobileNetV2 in microcontroller systems 15
3. **DESHKO V. I., BILOUS I. Y., BUIAK N. A., SAPUNOV A. O.**
Increasing the level of energy consumption efficiency in kindergarten and its impact on the level of thermal comfort 27
4. **KOZAK A. V., KORZHYK O. V.**
Improvement of UAV noise direction finding systems using vector-phase methods and superdirection 36
5. **PANASIUK O. I., PLESKACH V. L., MOLCHANOV B. S.**
Expanding the online communication functionality of the HELSI medical information system 50
6. **KHRYSTOVA A. R., ZOSIMOV V. V., BULGAKOVA O. S.**
Software solutions for efficient financial management and business metrics tracking 65

CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

7. **BILOUSOVA A. O.**
The influence of light stabilizers and nanosized particles of silica on the rate of destruction of polymer coatings under the UV radiation 77
8. **VAKHITOVA L. M., TARAN N. A., KOROTKIKH M. I.,
VAKHITOV R. A., BESSARABOV V. I., POPOV A. F.**
Oxidative-nucleophilic systems for decomposition of toxic substances 85

УДК 681.121.8:
681.122

ALLAHVERDIYEV E. N.

Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan; SOCAR Gas
Export Department, Baku, Azerbaijan

THE SELECTION OF TRANSMITTERS USING FUZZY LOGIC METHOD

Problems. The main issue for solving the problem of the gas flow measurement system and its commercial accounting is to provide the metrological features required during flow measurement, as well as to create conditions for obtaining prompt, complete and reliable data.

Methodology. The use of mathematical models of the devices allows to correct the indicators and dynamic characteristics of the devices, taking into account the changes in the environmental parameters. In addition to hard processing and control algorithms, one of the ways to increase the efficiency of the system is to use fuzzy processing algorithms that allow considering all possible options.

Findings. The main aspects of choosing the optimal flowmeter for the data-measuring system for accounting and distribution of natural gas are considered using methods of solving multi-criteria problems under conditions of uncertainty. Effective methods of selecting a measuring device depending on technical and economic indicators of the flow meter are analyzed, taking into account the problems of determining priorities in terms of fuzziness, subjectivity of information provided by experts on flow meters of different manufacturers, warranty and service conditions. Provided by the manufacturer, problem-solving opportunities were studied, the appropriateness of using fuzzy selection methods, fuzzy algorithms, along with deterministic methods, when choosing devices that ensure the optimal output characteristics of data measurement systems, completeness and integrity of data, their output signals for processing is displayed.

Originality. Effective methods of selecting a measuring device depending on technical and economic indicators of the flow meter are analyzed, taking into account the problems of determining priorities in terms of fuzziness, subjectivity of information provided by experts on flow meters of different manufacturers, warranty and service conditions.

Practical value. The application of one of the methods of solving multi-criteria problems, i.e. FTOPSIS, to choose the optimal gas consumption measuring device in terms of satisfying the construction and operational characteristics presented in the development of the information measurement system, ultimately, the application of one of the methods of solving one of the alternative solutions to increase the effectiveness of the decision-making system, which opens up new opportunities in the process of choosing one of the alternative solutions can lead to simplifying (automating) the procedure of prioritizing decisions.

Keywords: gas consumption; transmitter; information-measurement system; fuzzy logic; selection criteria.

Introduction. Accurate metering and distribution of natural gas during production and transportation is critical to optimizing these processes.

Therefore, considering that natural gas is used as the most environmentally friendly fuel and is an indispensable raw material for the production of chemical products such as urea – a fertilizer for plants, it has the highest environmental and thermal indicators. the rate of development of the industry, the amount of gas processing (consumption) of new tools required for measurement.

Currently, flowmeters and counters of various designs and a simple working principle are used to measure and record gas flow (quantity). The information-measurement systems to which those tools and devices are connected can be built on the basis of certain concepts. One of the important problems in the development of these systems is the selection of measuring instruments with optimal indicators and metrological properties in accordance with the manufacturer's specifications and technical tasks drawn up for the design of the system. Obviously, such a choice depends on the working principle, design parameters, metrological indicators (accuracy and error, etc.), data

reception and transmission, working temperature and pressure, type of output signal and functionality. Existing criteria and methods for the application of these devices should be based on data.

Studies show that information about devices and devices placed on websites is presented in an attractive form in most cases. Since this information is promotional in nature, it will not provide accurate results when used to select devices based on relevant criteria. As a result of the analysis, it was determined that the deterministic parameters of the devices have a certain uncertainty. These indicators and parameters include their output signal, fundamental, relative and absolute errors, and the signal processing algorithms used. On the other hand, it turns out that various manufacturers work with relevant industry standards, which in most cases focus on the design of devices to attract customers. For this reason, the use of existing deterministic methods during the selection of parametric devices that meet the specified requirements does not allow to obtain the desired result in most cases.

Therefore, improvement and development of existing selection methods based on modern information technologies is urgent and requires a systematic approach.

Statement of the question. When developing the appropriate information-measurement system, a device with characteristics that meet the requirements of technical conditions is selected and integrated into the system, the required characteristics of the system as a whole are obtained and processed. Also, the results of gas flow measurement and other parameters accompanying the gas transportation process require special attention.

As mentioned, for the application of algorithms based on the theory of fuzzy sets, which is a branch of soft computing, the output characteristics of the sensors and transducers used in the measurement of the relevant parameters, metrological indicators, and the characteristics of the sensitive element should be studied.

The problem of selecting measuring tools based on appropriate criteria for the creation of software that ensures the correct functional characteristics and dependencies of devices operating under the conditions of information uncertainty, as well as the problem of the final conversion of the measured parameter into an electrical signal and then transferring it to the digital input of the system, processing and creating the data received in the process of measurement and transformation covers issues.

To ensure the metrological and technical-economic characteristics of information-measurement systems, the joint use of deterministic and fuzzy data processing algorithms is more appropriate and allows using the advantages of both types of algorithms.

The last 25–30 years are characterized by the development and application of various information-measurement systems using microprocessor-based measuring devices using fuzzy sets and fuzzy logic, soft computing theories that automate decision-making under uncertainty [1]. The use of this approach allows obtaining optimal and more efficient results in most cases.

It is known that the natural gas extracted from the fields contains both mechanical impurities and other aggressive substances, which lead to rapid wear of the devices connected to measure gas flow directly into the well and at the outlet of the complex gas cleaning and drying unit. This fact imposes additional constraints on the selection of a suitable cost measure and further increases the size of the multi-criteria optimal selection problem. Therefore, one of the main issues that must be solved during the development and improvement of the IOS is the selection of the most suitable device for measuring the consumption of natural gas with a given composition and minimizing costs. However, studies show that it is not possible to develop universal gas flowmeters, which, in turn, allow to improve the scheme of the measuring tract and the system as a whole. These details require a differential approach to the selection of a consumer and a suitable converter that fully meets the process requirements and provides the required efficiency and quality indicators of such systems, depending on the gas composition.

As with any technical device consisting of many elements and parts and electronic circuits, the technical and operational characteristics of existing types of flowmeters are different. Therefore, they should be selected according to technical indicators, advantages and disadvantages. This choice is also affected by the unique features of the issue and process. In this case, when choosing, it is necessary to take into account the optimal ratio of price and functionality, which in some cases is important to minimize the costs of creating and maintaining the system.

Flowmeters provide a direct measurement method based on the formation of Coriolis forces when the measured flow passes through a specific device. Incorporating a microprocessor-based transducer with a suitable sensor into the flow meter provides real-time measurement of gas flow, density, temperature, and volume flow calculation. Coriolis counters have no moving parts. This ensures high accuracy and reliability of measurement results, as well as low operating costs. In addition, their installation is simpler than other flow meters, since no special equipment (such as a membrane) is required.

Despite their high sensitivity to excitation, Vortex flowmeters are widely used in industry to monitor the flow of various liquids and gases. Vortex meters use special coefficients to reduce and compensate for effects such as fluctuations in measured flow temperature, changes in pipe diameter, and flow turbulence to improve accuracy of measurement results.

Modern electromagnetic flowmeters are not used to measure gas consumption, although built-in microcontrollers allow to reduce the effect of noise and disturbances, and to expand the diagnosis of faults.

A flowmeter consisting of a differential pressure sensor and a main transducer based on variable pressure methods is the most versatile measurement method. However, this requires the installation of a shrink device.

Thus, there are currently a large number of flow meters, which in turn requires selection criteria for such flow meters.

Problem solving. Studies show that in addition to the analyzed technical and operational indicators, it is necessary to take into account the availability of the appropriate production base and service for choosing the optimal measuring device.

The necessity of choosing any decision, in this case a device characterized by a large number of indicators, requires the identification of contradictions and the search for compromises in the decision-making process. There are various methods for analyzing and solving this kind of multi-criteria problem, for example VIKOR, ELECTRE, TOPSIS [2]. The main difference between these methods is in the evaluation of comparable alternatives.

Since the issue of choosing the most optimal device for measuring gas consumption in terms of its technical and economic indicators is multi-criteria, a number of multi-criteria methods such as TOPSIS and FTOPSIS (Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), which allow determining the optimal alternative depending on the evaluation of the distance from the ideal solution, are used, decision-making method MCDM (Multi-Criteria Decision Making) and possibilities of algorithms were investigated. The TOPSIS method, based on the calculation of the distances from the anti-ideal point to the ideal point (solution), determines the impact of uncertainties in expert assessments, and allows determining the decision-making priorities regarding the choice of a measuring device for the gas consumption measurement and accounting system. Several advantages of TOPSIS are: simplicity of the calculation process – it allows easy programming in the form of a table; the presence of a scalar price that pays both the best and the worst alternatives at the same time – facilitates evaluation [4].

FTOPSIS, which is a derivative method, is based on fuzzy sets. Using FTOPSIS with fuzzy logic is considered to be a very effective step to reduce the influence of subjectivity in expert opinions. At the same time, by setting the priorities of this or that solution, it is possible to evaluate the

proximity of the found solution to the ideal solution. As it is known the membership functions of fuzzy sets have different forms, but it is appropriate to use the triangular function because it is the simplest and has the widest application possibilities. At this time, the issue of choosing a device that meets the requirements for most parameters and indicators will consist of several steps.

The first of these is the selection of an appropriate linguistic variable to express the importance of the relevant criterion. In this regard, when choosing a flow meter, an analysis of advantages and disadvantages is carried out after compiling a general table of available flow meters.

The second stage consists of ranking individual types of flowmeters by degrees, applying degrees depending on the criteria. Currently, the following indicators can be applied as obvious advantages:

- sufficiently high accuracy;
- measurement stability;
- does not depend on the flow direction;
- ease of installation and maintenance, lack of requirements for straight parts of the pipeline;
- reliability of measurement results during pipeline vibration, temperature and pressure

changes;

- long-term service;
- no periodic calibration required.

In addition to the basic indicators mentioned at this time, we take into account that the presence of self-diagnostics allows timely detection and elimination of faults, and in some cases their prevention, which increases the reliability of the system and the integrity of the measurement results.

After adding a large number of other metrological and technical-economic parameters and indicators to the above list, the final tables are presented to experts. They prioritize based on obvious advantages and other characteristics necessary to determine the technical and economic indicators of the selected device according to the characteristics of the technological process.

In the third and fourth steps, the parameters of the membership functions of the corresponding linguistic variables are determined to construct the fuzzy decision matrix and the normalized fuzzy decision matrix.

The most difficult but effective step in solving this problem is to build a table of alternative solutions needed to select the required measuring instrument. For this, at the fifth stage, procedures for determining fuzzy positive ideal solutions and fuzzy negative ideal solutions come into play.

In the sixth step, the distance from each alternative solution to the positive ideal and negative ideal solutions is calculated. The seventh step is to determine the similarity score for the selected devices. The obtained results ensure that the final choice is determined by prioritizing each alternative solution.

It should be noted that the efficiency of the decision taken in all cases includes both technical and economic aspects of choosing a suitable and adequate cost meter. Therefore, the indicators corresponding to these two aspects should be analyzed in advance and reflected separately for each device in the tabular information presented to specialists for selection. This efficiency is determined by the efficiency achieved during operation together with the flowmeter data-measuring system, it is planned and predictive and should not exceed the values given in the technical assignment. It is clear that in the calculations related to this, the price of the flow meter, the cost of service services, operating costs, due to the fact that it has better characteristics compared to the current flow meter, and the effect due to its low error should also be taken into account.

After choosing a measuring device, it is advisable to carry out a simulation using Simulink or other software products, the results of which will help to evaluate the reliability and integrity of the received solutions in the future.

Conclusion:

Research shows that

- the application of multi-criteria problem solving methods in the selection of measuring devices in response to the given requirements allows not only to achieve the highest possible level of durability and reliability, but also to reduce the costs of using the device as part of the system;
- in addition to all mentioned selection methods, it is advisable to apply a hybrid method using fuzzy calculation to facilitate the operation process by experts;
- thus, the application of one of the methods of solving multi-criteria problems, i.e. FTOPSIS, to choose the optimal gas consumption measuring device in terms of satisfying the construction and operational characteristics presented in the development of the information measurement system, ultimately, the application of one of the methods of solving one of the alternative solutions to increase the effectiveness of the decision-making system, which opens up new opportunities in the process of choosing one of the alternative solutions can lead to simplifying (automating) the procedure of prioritizing decisions.

References

1. Adejuyigba, B., Uvwo, I., Liu, J., Ekpecham, O. (2004). Investigation of three phase flow measurement capabilities of a Cariolis flow meter. *4th North American Conference on multiphase technology*. Washington. P. 161.
2. Baker, R. C. (2016). *Flow Measurement Handbook: Industrial Designs, Operating Principles, Performance, and Applications*. 2nd Edition. Cambridge University Press, 2016. 794 p.
3. Bohl, W. (2002). *Technische Strömungslehre*. Vogel Fachbuch. 12th Edition. Würzburg, Germany. 504 p.
4. Design Guide for Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems. February 29, 2000.
5. Jones, F. (1995). *Techniques and Topics in Flow Measurement*. 1st Edition. Boca Raton: CRC Press. 176 p.
6. Harper, R. (2003). *Inside the Smart Home*. London: Springer.
7. Qasimov, V. Ə. (2005). Elm və təhsilin informasiya təminatı sistemləri. Bakı: Elm. 113 s.
8. Spitzer, D. W. (2001). *Flow Measurement – Practical Guide for Measurement and Control*. ISA North Carolina, USA. 646 p.
9. Allahverdiev, E. N. (2018). Principy postroeniya IIS dlja izmereniya rashoda gaza [Principles of construction of IMS for measuring gas flow]. *Nauchnye trudy. Azerbajdzhanskij Tehniceskij Universitet = Scientific works. Azerbaijan Technical University*, № 4, P. 131–138 [in Russian].
10. Kopysciskij, T. I., Rzaev, Ju. R. (2006). Metodologija ucheta nefti i nefteproduktov. Organizacionno-metrologicheskij aspekt [Methodology for accounting for oil and oil products. Organizational and metrological aspect]. Baku, OCAQ. 288 p. [in Russian].

Література

1. Adejuyigba B., Uvwo I., Liu J., Ekpecham O. Investigation of three phase flow measurement capabilities of a Cariolis flow meter. *4th North American Conference on multiphase technology*. Washington, 2004. P. 161.
2. Baker R. C. *Flow Measurement Handbook: Industrial Designs, Operating Principles, Performance, and Applications*. 2nd Edition. Cambridge University Press, 2016. 794 p.
3. Bohl W. *Technische Strömungslehre*. Vogel Fachbuch. 12th Edition. Würzburg, Germany, 2002. 504 p.
4. Design Guide for Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems February 29, 2000.
5. Jones F. E. *Techniques and Topics in flow measurement*. 1st Edition. Boca Raton: CRC Press, 1995. 176 p.
6. Harper, R. (2003). *Inside the Smart Home*. London: Springer.
7. Qasimov V. Ə. Elm və təhsilin informasiya təminatı sistemləri. Bakı: Elm, 2005. 113 s.
8. Spitzer D. W. *Flow Measurement – Practical Guide for Measurement and Control*. ISA North Carolina, USA, 2001. 646 p.
9. Аллахвердиев Е. Н. Принципы построения ИИС для измерения расхода газа. *Научные труды. Азербайджанский Технический Университет*. 2018. № 4. С. 131–138.
10. Копысицкий Т. И., Рзаев Ю. Р. Методология учета нефти и нефтепродуктов. Организационно-метрологический аспект. Баку, ОСАК, 2006. 288 с.

ALLAHVERDIYEV ELSEVAR NABI

PHD Candidate, Department of Equipment production,
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan;
Chief of Automation of production processes Division,
SOCAR Gas Export Department, Baku, Azerbaijan
E-mail: mr_allahverdiyev@mail.ru

АЛЛАХВЕРДІЄВ Е. Н.

Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Баку, Азербайджан
SOCAR Gas Export Department, Баку, Азербайджан

ВИБІР ПЕРЕДАВАЧІВ МЕТОДОМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Мета. Основним питанням вирішення проблеми системи вимірювання витрати газу та його комерційного обліку є забезпечення метрологічних характеристик, необхідних при вимірюванні витрати, а також створення умов для отримання оперативної, повної та достовірної інформації.

Методика. Використання математичних моделей пристроїв дозволяє коригувати показники та динамічні характеристики пристроїв з урахуванням змін параметрів навколишнього середовища. Окрім жорстких алгоритмів обробки та керування, одним із шляхів підвищення ефективності системи є використання нечітких алгоритмів обробки, які дозволяють розглянути всі можливі варіанти.

Результати. Розглянуто основні аспекти вибору оптимального витратоміра для інформаційно-вимірювальної системи обліку та розподілу природного газу за допомогою методів вирішення багатокритеріальних задач в умовах невизначеності. Проаналізовано ефективні методи вибору вимірювального приладу залежно від техніко-економічних показників витратоміра з урахуванням проблем визначення пріоритетів щодо нечіткості, суб'єктивності інформації, що надається експертами щодо витратомірів різних виробників, умов гарантійного та сервісного обслуговування. Досліджено надані виробником можливості вирішення задач, доцільність використання методів нечіткого відбору, нечітких алгоритмів, поряд з детермінованими методами, при виборі пристроїв, що забезпечують оптимальні вихідні характеристики вимірювальних систем даних, повноту та цілісність даних, їх вихід. відображаються сигнали для обробки.

Наукова новизна. Проаналізовано ефективні методи вибору вимірювального приладу залежно від техніко-економічних показників витратоміра з урахуванням проблем визначення пріоритетів щодо нечіткості, суб'єктивності інформації, що надається експертами щодо витратомірів різних виробників, умов гарантійного та сервісного обслуговування.

Практична значимість. Застосування одного з методів розв'язання багатокритеріальних задач – FTOPSIS – для вибору оптимального вимірювача витрати газу з точки зору задоволення конструктивних та експлуатаційних характеристик, представлених у розробці інформаційно-вимірювальної системи, дозволяє підвищити ефективність системи прийняття рішень і призвести до спрощення (автоматизації) процедури пріоритезації рішень.

Ключові слова: витрата газу; передавач; інформаційно-вимірювальна система; нечітка логіка; критерії вибору.

УДК 621.382

ДЕНІСОВ Р. В., ОНИКІЄНКО Ю. О.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НЕЙРОНИМИ МЕРЕЖАМИ НА ПРИКЛАДІ MOBILENETV1 ТА MOBILENETV2 В СИСТЕМАХ НА МІКРОКОНТРОЛЕРАХ

Мета. Дослідження залежності об'єму задіяної пам'яті мікроконтролера та часу розпізнавання зображення від типу згорткової нейронної мережі MobileNet V1 або V2 та їх гіперпараметрів.

Методика. Створення бази даних зображень, необхідних для навчання нейронної мережі з використанням програмної платформи Edge Impulse з послідовним завантаження мережі в пам'ять 32-х бітного мікроконтролера ESP32 для практичної оцінки характеристик мережі.

Результати. Виконано порівняння характеристик нейронних мереж MobileNetV1 та MobileNetV2. Проведено експерименти для визначення залежності часу розпізнавання обраних об'єктів на зображенні, об'єму використаної оперативної пам'яті та пам'яті програм, на базі мікроконтролера ESP-EYE з камерою, в залежності від коефіцієнту ширини мережі, розміру зображення та архітектури згорткової нейронної мережі. Визначено що час класифікації зображень для моделі мережі MobileNetV2 займає від трьох до десяти секунд і більше, що не є прийнятним для задач швидкого розпізнавання. Також встановлено, що для аналізу зображень 160 на 160 пікселів з максимальною шириною мережі моделі MobileNetV2 не вистачає пам'яті програм мікроконтролера. Використання мережі MobileNetV1 забезпечує дещо меншу точність розпізнавання, але вимагає значно менше ресурсів мікроконтролера та часу.

Наукова новизна. Перевірено на практиці особливості використання, можливості та обмеження нейронних мереж для розпізнавання зображень в системах на мікроконтролерах ESP32. Встановлено залежності об'єму задіяної пам'яті мікроконтролера та часу розпізнавання зображення від типу згорткової нейронної з метою вибору додаткових засобів обробки зображень для підвищення якості розпізнавання.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють здійснити вибір нейронної мережі MobileNetV1 або MobileNetV2 в залежності від конкретних задач розпізнавання зображень системами на мікроконтролерах.

Ключові слова: мікроконтролери; розпізнавання зображень; згорткові нейронні мережі; Edge Impulse; MobileNet.

Вступ. Системи розпізнавання зображень із кожним днем знаходять все більше сфер застосування та подальшого розвитку. При тому, що системи розпізнавання зображень достатньо вибагливі до обчислювальних ресурсів, тенденцією сьогодення є збільшення їх використання у мікроконтролерних системах. Тому виникає необхідність адаптації алгоритмів розпізнавання та попередня обробка зображень для подальшого завантаження у мікроконтролер, та використання згорткових нейронних мереж для вбудованих систем.

Згорткові нейронні мережі (CNN) – клас глибоких штучних нейронних мереж, які були успішно застосовані для вирішення проблем класифікації зображень. Вони мають високу точність розпізнавання, але вимагають великого обсягу пам'яті [1–3]. Більшість моделей CNN містять згорткові шари, агрегувальні шари та повноз'єднані шари. Згорткові шари вимагають великих обчислень через операції множення та додавання. Повноз'єднані шари не залежать від пам'яті, оскільки всі навчені ваги зберігаються у вбудованій пам'яті, як, наприклад, реалізовано в [4].

Постановка завдання. Метою даної роботи є аналіз впливу гіперпараметрів обробки зображення та архітектури нейронної мережі MobileNet на об'єм використаних ресурсів мікроконтролера. Для здійснення аналізу необхідно:

- Створити базу даних з зображень, необхідних для навчання мережі та оцінити точність розпізнавання обраних категорій зображення;
- Встановити залежності об'єму задіяної пам'яті мікроконтролера та часу розпізнавання від типу згорткової нейронної мережі MobileNet V1 або V2 та їх гіперпараметрів.

Результати попередніх досліджень. Однією з перших згорткових нейронних мереж, що мала якість розпізнавання об'єктів на зображенні вище 80% була мережа AlexNet. Мережа AlexNet містить вісім шарів; перші п'ять згорткові шари, за деякими з них йшли агрегувальні шари з максимальним об'єднанням, а останні три повноз'єднані шари [5]. В еволюції архітектур типовою тенденцією є те, що мережі стають глибшими [6].

До основних переваг згорткових нейронних мереж відносять можливість перенавчання під різні задачі [7], масштабованість мережі за допомогою додаткових параметрів стиснення (зменшення глибини мережі, зменшення розміру зображення), а також можливості встановлення на мікроконтролери, FPGA (Field-Programmable Gate Array) та інших системах з обмеженою пам'яттю

CNN знаходять широке застосування у мікроконтролерних системах. Так у роботі з порівняння алгоритмів глибокого навчання та згорткових нейронних мереж, було створено згорткову мережу на розпізнавання 5 порід собак із точністю більше 90% для кожної з них [8]. Зменшення розмірів та інтеграція в мікроконтролерні системи значно розширює сфери застосування нейронних мереж та підвищує рівень автоматизації різних процесів, у яких зараз необхідне людське втручання. В роботі [9] представлено детектор хвороб рослин на основі плати STM32F746G-disco, яка має 1 Мбайт флеш-пам'яті та 340 кБайт оперативної пам'яті. Аналіз зображень виконувався за допомогою нейронних мереж. Для визначення ступені зіпсованості продуктів використано CNN, розгорнуту на платі NodeMCU з мікроконтролером ESP8266 [10].

Враховуючи тенденцію на зменшення розміру нейронних мереж для застосування на пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами компанія Google створила клас ефективних моделей для мобільних, вбудованих програм комп'ютерного зору MobileNets [11]. Мережі MobileNets засновані на спрощеній архітектурі, яка використовує згортки, що розділяються по глибині, для створення глибоких нейронних мереж меншого розміру. Компактні розміри досягаються введенням гіперпараметрів, що дозволяють стиснути мережу до необхідних розмірів.

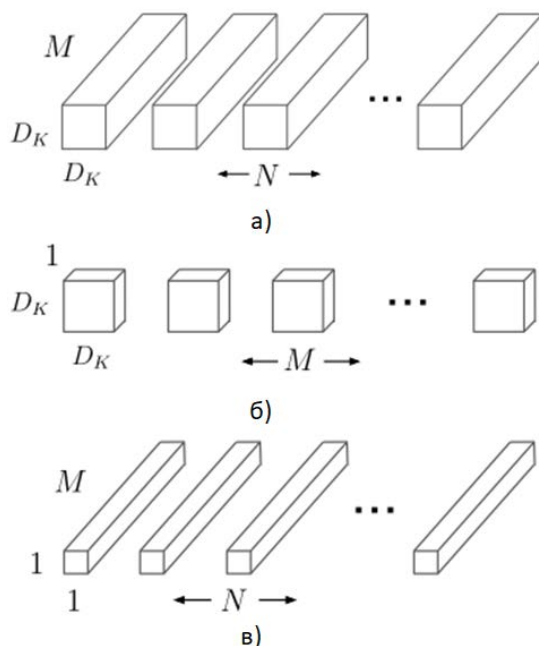
В роботі [12] описано систему для моніторингу споживання їжі у реальному часі на основі моделі нейронної мережі MobileNet. Запропонована мережа потребує 762 кБайт флеш-пам'яті та 500 кБайт оперативної пам'яті для реалізації на мікроконтролері STM32H7. Мережі потрібно в середньому 300 мс, щоб відобразити захоплене зображення на РК-моніторі та провести аналіз. Запропонована архітектура досягає середньої точності розпізнавання 0,82 на тестових зображеннях і показника 0,74 під час тестування у реальному часі. Модель безпілотного автомобіля з використанням MobileNet, як згорткової мережі для аналізу зображення, яке поступає з камери, запропоновано в [13]. Нейронна мережа має використовуватися для визначення смуги руху та прогнозування повороту ліворуч, праворуч і вперед на основі вхідного зображення.

Таким чином, використання нейронних мереж MobileNets для розпізнавання інформації і, зокрема, зображення, розширює функціональні можливості вбудованих систем на мікроконтролерах при необхідності врахування обмеженості їх ресурсів.

Далі наведено опис, умови проведення експерименту та власне його результати.

Особливості побудови нейронних мереж MobileNet. Модель MobileNet базується на згортках, які можна розділити по глибині, що є формою факторизованих згорток, тобто таких, які розкладають стандартну згортку на згортку по глибині, та згортку 1×1 , яка називається

поточною згорткою. Для MobileNets глибинна згортка застосовує один фільтр до кожного вхідного каналу. Потім поточкова згортка застосовує згортку 1×1 для об'єднання виходів поглибленої згортки. Стандартна згортка фільтрує та поєднує вхідні дані в новий набір виходів за один крок. Згортка, що розділяється по глибині, розділяє це на два шари: окремий шар для фільтрації та окремий шар для комбінування. Такий підхід дає в результаті значне зменшення обчислень і розміру моделі [11].



Джерело: [11].

Рис. 1. Етапи перетворення згорткових фільтрів: а) стандартна згортка, б) згортка по глибині, в) поточкова згортка

На рис. 1 показано, як стандартна згортка (а) розкладається на згортку по глибині (б) і поточкову згортку 1×1 (в). Стандартний згортковий шар приймає як вхідні дані $D_F \times D_F \times M$ карти функцій F і створює значення $D_G \times D_G \times N$ карти функцій G , де D_F – просторова ширина та висота квадратної вхідної карти функцій, M – кількість вхідних каналів (вхідна глибина), D_G – просторова ширина та висота квадратної вихідної карти ознак, а N – номер вихідного каналу (вихідна глибина). Стандартний згортковий шар параметризовано ядром згортки K розміром $D_K \times D_K \times M \times N$, де D_K – просторовий розмір ядра, що вважається квадратним, а M – кількість вхідних каналів, а N – кількість вихідних каналів, як визначено раніше.

Стандартні згортки мають наступну обчислювальну вартість (тобто кількість ресурсів, які використовує нейронна мережа для навчання або розпізнавання) [11]:

$$D_K \times D_K \times M \times N \times D_F \times D_F. \quad (1)$$

де вартість обчислення як добуток залежить від кількості вхідних каналів M , кількості вихідних каналів N , розміру ядра $D_K \times D_K$ і розміру карти функцій $D_F \times D_F$. Кожен з цих термінів та їх взаємодія стосуються моделі MobileNet. Вона використовує згортки, що розділяються по глибині, щоб прибрати залежність між кількістю вихідних каналів і розміром ядра.

Стандартна операція згортки має ефект фільтруючих функцій на основі згорткових ядер і комбінування функцій для створення нового представлення. Етапи фільтрації та об'єднання можна розділити на два етапи за допомогою факторизованих згорток для істотного зниження витрат на обчислення.

Згортка, що розділяється по глибині, складається з двох шарів: згортки по глибині та згортки по точкам. Згортка по глибині використовується, щоб застосувати один фільтр для кожного вхідного каналу (вхідна глибина). Поточкова згортка, проста згортка 1×1 , потім використовується для створення лінійної комбінації результату шару по глибині. Поглиблена згортка має наступну обчислювальну вартість:

$$D_K \times D_K \times M \times D_F \times D_F. \quad (2)$$

Поглиблена згортка надзвичайно ефективна порівняно зі стандартною згорткою. Однак вона лише фільтрує вхідні канали, а не поєднує їх для створення нових функцій. Отже, для генерації цих нових функцій потрібен додатковий шар, який обчислює лінійну комбінацію результату згортки по глибині через згортку 1×1 .

Комбінація згортки по глибині та згортки 1×1 (поточної) називається роздільною згорткою по глибині. Обчислювана вартість згорток, що розділяються по глибині:

$$D_K \times D_K \times M \times D_F \times D_F + M \times N \times D_F \times D_F. \quad (3)$$

яка є сумою глибинної та 1×1 поточної згорток.

Виражаючи згортку як двоетапний процес фільтрації та об'єднання, можна отримати скорочення обчислень [11]:

$$\frac{D_K \cdot D_K \cdot M \cdot D_F \cdot D_F + M \cdot N \cdot D_F \cdot D_F}{D_K \cdot D_K \cdot M \cdot N \cdot D_F \cdot D_F} = \frac{1}{N} + \frac{1}{D_K^2}. \quad (4)$$

MobileNet використовує згортки 3×3 із розділенням по глибині, які використовують у 8–9 разів менше обчислень, ніж стандартні згортки, лише з невеликим зниженням точності.

Хоча базова архітектура MobileNet є невеликою та має низьку затримку, для ще більшого зменшення об'єму та підвищення швидкості водиться параметр α , який називається множником ширини. Роль множника ширини α полягає в рівномірному проріджуванні мережі на кожному шарі. Для заданого шару та множника ширини α кількість вхідних каналів M стає αM , а кількість вихідних каналів N стає αN .

Обчислювальні витрати згортки, що розділяється по глибині, з множником ширини α [14_11]:

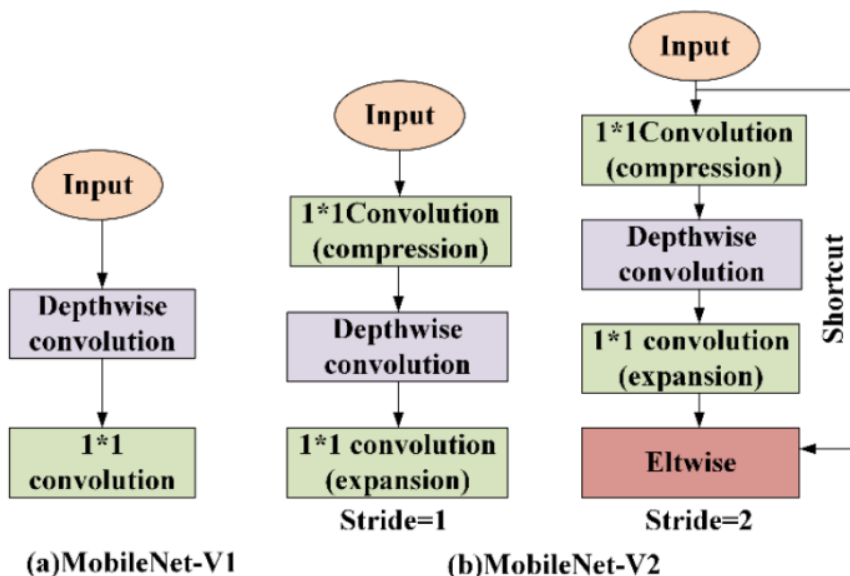
$$D_K \times D_K \times \alpha M \times D_F \times D_F + \alpha M \times \alpha N \times D_F \times D_F. \quad (5)$$

де $\alpha \in (0, 1]$ із типовими налаштуваннями 1, 0,75, 0,5 і 0,25. $\alpha = 1$ – це базова MobileNet, а $\alpha < 1$ – скорочені MobileNets. Множник ширини впливає на квадратичне зменшення обчислювальних витрат і кількості параметрів приблизно на α^2 . Множник ширини можна застосувати до будь-якої структури моделі, щоб визначити нову меншу модель із новою точністю, затримкою та розміром. Він використовується для визначення нової зменшеної структури, яку потрібно навчити з нуля.

Головна відмінність MobileNet V2 – це новий модуль шару: інвертований залишковий блок із лінійними вузькими місцями (bottleneck layers), які зменшують розмір вхідних даних. Цей модуль приймає як вхідні дані стиснене зображення, яке спочатку розширюється до великого розміру та фільтрується за допомогою згортки по глибині. Потім об'єкти проєктуються назад у зображення з лінійною згорткою [14].

Модуль може бути реалізований за допомогою стандартних операцій у будь-якому сучасному фреймворку. Крім того, цей згортковий модуль особливо підходить для мобільних проєктів, оскільки він дозволяє значно зменшити обсяг пам'яті, необхідний для розпізнавання.

На рис. 2 показано різницю між архітектурою MobileNetV1 і MobileNetV2, де згорткові блоки, що розділяються по глибині, і поточкові згорткові шари подібні до V1. Проте є незначна зміна структури шарів згортки. Тут перший шар – це згортка 1×1 із ReLu6 (тип функції активації Rectified Linear Units, яка є лінійною в додатному вимірі, але дорівнює нулю в від'ємному вимірі і має обмеження активації максимальним розміром 6), а другий шар виконує операцію згортки по глибині, а третій шар виконує згортку 1×1 без будь-якої нелінійності [15].



Джерело: [16].

Рис. 2. Архітектури MobileNetV1 та MobileNetV2

Таким чином, перевагами мереж MobileNets є досить висока точність розпізнавання при зменшених об'ємах обчислювальних витрат та вищій швидкості розпізнавання. Завдяки зменшенню необхідних технічних потужностей мережу MobileNets можна застосовувати на пристроях з обмеженими ресурсами таких параметрів як пам'ять програми (FLASH), оперативна пам'ять (RAM) при досить високій точності розпізнавання.

Експериментальна оцінка якості розпізнавання для різних моделей мережі. Для оцінки впливу типу та параметрів моделі нейронної мережі на якість і час розпізнавання зображень, а також на об'єм необхідних для цього ресурсів мікроконтролера проведено ряд експериментів з використанням вбудованих інструментів програмної платформи Edge Impulse [17]. Дана платформа створена для широкого загалу інженерів та дослідників, що використовують нейронні мережі для розпізнавання різноманітних даних: зображень, звукових сигналів, сигналів з сенсорів та інших даних, представлених у вигляді електричних сигналів. Платформа орієнтована на створення моделей, призначених для використання у вбудованих або у спеціалізованих системах. Edge Impulse використовує фреймворк Keras, що є інтерфейсом прикладного програмування (API) високого рівня платформи машинного навчання TensorFlow, розробленої компанією Google. TensorFlow – програмна бібліотека з відкритим кодом та набором функцій для машинного навчання на основі нейронних мереж глибинного навчання. Однією з складових TensorFlow є бібліотека моделей MobileNet. Edge Impulse надає можливість вибрати одну з декількох наявних моделей MobileNet та міняти її налаштування для використання у певній вбудованій системі виходячи з її наявних ресурсів. Edge Impulse надає перелік вбудованих систем та мікроконтролерів, в яких можна використовувати моделі MobileNet. Для наявних типів мікроконтролерів Edge Impulse обчислює використання пам'яті програми та оперативної пам'яті процесора та орієнтовний

час розпізнавання. Після вибору та тренування моделі нейронної мережі потрібно вибрати необхідну платформу розробки та завантажити код програми до пам'яті мікроконтролера.

Для проведення експериментів по розпізнаванню зображень вибрано модуль ESP-EYE, який представляє з себе плату розробки на основі 32-розрядного мікроконтролера ESP32 з підключеною зовнішню 2-мегапіксельною камерою [18]. На платі розміщено цифровий мікрофон, та мікросхему RAM ємністю 8 Мбайт. Крім того, плата може підтримувати передачу зображення через вбудований канал Wi-Fi. Наведений функціонал робить плату одним з найкращих варіантів для додатків, пов'язаних із виявленням і розпізнаванням обличчя та розпізнаванням мови. Мікроконтролер ESP32 має мікропроцесорне ядро Tensilica Xtensa LX6 від компанії Cadence Design Systems. Основні характеристики плати:

- Частота тактового генератора – 240 МГц
- Об'єм пам'яті програм (FLASH) – 4 Мбайт
- Об'єм оперативної пам'яті (SRAM) – 8 Мбайт
- Роздільна здатність камери – 2 мегапікселі

Зовнішній вигляд плати ESP-EYE з підключеною камерою наведено на рис. 3.

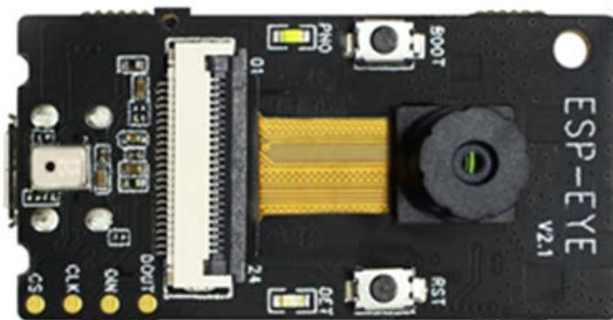


Рис. 3. Плата ESP-EYE з камерою

Для проведення експерименту створено дві групи зображень з назвами "men", "dogs". Обидві групи містять по 30 зображень відповідно людей та собак. Для забезпечення кращих результатів розпізнавання 80% зразків з кожної з груп даних, тобто 24 зразка, використано для тренування моделі нейронної мережі, а відповідно 6 зразків (20%) використано для перевірки. Платформа Edge Impulse дозволяє вибрати модель нейронної мережі зі списку доступних і виконати її тренування даними користувача. Після тренування моделі платформою Edge Impulse згенеровано код програми розпізнавання зображень для завантаження в пам'ять вибраного мікроконтролера. Програма також містить функції, необхідні для взаємодії з комп'ютером через USB та виводу результатів розпізнавання у командному рядку консолі. Зображення з камери модуля ESP-EYE можна переглядати у вікні браузера в процесі розпізнавання.

Результатом розпізнавання є імовірність визначення приналежності об'єкта на зображенні до груп даних, які було використано для тренування моделі. При чому сумарна імовірність приналежності до обох груп дорівнює 1 і розподіляється між ними пропорційно результатам розпізнавання. Сам процес розпізнавання є циклічним: після завершення першого порівняння робиться новий знімок і починається наступне розпізнавання.

В першому експерименті розглянуто залежність об'єму використаної FLASH та RAM пам'яті від типу вибраної моделі нейронної мережі. Edge Impulse містить дві моделі MobileNetV1 та MobileNetV2 з різним розміром матриці зображення та різним значенням множника ширини α , який змінює число вхідних та вихідних каналів нейронної мережі. При використанні моделі з більшим розміром матриці або з більшим значенням множника ширини

об'єм використаної FLASH та RAM зростає. Тому для всіх наявних моделей нейронної мережі Edge Impulse розраховано значення потрібного об'єму пам'яті та визначено для яких моделей достатньо FLASH пам'яті мікроконтролера ESP32 та RAM мікросхеми, а яким моделям пам'яті недостатньо.

У другому експерименті оцінено вплив значення множника ширини α на точність розпізнавання для вибраної моделі мережі, а саме MobileNetV2 160 x 160. Як вказано вище, множник ширини α є важливим чинником для зменшення розміру нейронної мережі, хоча і за рахунок зменшення точності розпізнавання. Експеримент виконано для всіх доступних варіантів моделі, які можна розмістити у FLASH пам'яті мікроконтролера та RAM модуля ESP-EYE.

У третьому експерименті виконано порівняння за основними характеристиками моделей MobileNetV1 96 x 96 та MobileNetV2 96 x 96 з різними значеннями множника ширини α , а саме за точністю розпізнавання, часу розпізнавання, об'єму використаної FLASH пам'яті та RAM. Мета експерименту – визначення найбільш ефективної моделі нейронної мережі для використання мікроконтролерами з обмеженими об'ємами пам'яті програм та оперативної пам'яті.

Аналіз результатів експерименту. В даному розділі наведено результати проведених експериментів. Точність розпізнавання визначалася на основі імовірності приналежності зображення групі "men". Тобто, якщо імовірність того, що зображення належить людині перевищувала 0,5, то результат вважався позитивним. Середнє значення ймовірності обчислювалось на основі 30 порівнянь.

Edge Impulse містить моделі MobileNetV1 та MobileNetV2 з різними значеннями коефіцієнта α . В таблиці 1 наведені значення необхідної FLASH та RAM мікроконтролера ESP32 для розгортання підтримуваних платформою Edge Impulse типів моделей нейронних мереж. Також в таблиці наведено практичний час, необхідний для виконання розпізнавання модулем ESP-EYE, та теоретичний ($t_{\text{розрах}}$), що надає платформа Edge Impulse. Моделі нейронної мережі MobileNetV1 96 x 96 займають в пам'яті програм до 310 кБайт та потребують до 131 кБайт оперативної пам'яті. Модель з $\alpha = 0.1$ може бути використана в мікроконтролерах, які мають не менше 128 кБайт RAM, інші моделі з множниками ширини $\alpha = 0.2$ та $\alpha = 0.25$ можна використати в мікроконтролерах з об'ємом RAM пам'яті в 256 кБайт. Таким вимогам задовольняє велика кількість мікроконтролерів з ядром ARM Cortex-M3 та M4. Також слід мати на увазі що розмір RAM пам'яті мікроконтролерів в декілька разів менше ніж розмір FLASH.

Таблиця 1

**Залежність об'єму задіяної FLASH та RAM пам'яті від типу
вибраної моделі мережі та точність розпізнавання обраних мереж**

MobileNet	α	Точність	FLASH, кБ	RAM, кБ	$t_{\text{розрах}}, \text{мс}$	$t, \text{мс}$
V1 96x96	0.1	0,52	107,5	66,5	369	150
V1 96x96	0.2	0,56	224,8	106,7	722	440
V1 96x96	0.25	0,59	307,8	130,9	1620	622
V2 96x96	0.05	0,51	158,8	283,4	1140	572
V2 96x96	0.1	0,57	208,8	293,2	1254	633
V2 96x96	0.35	0,67	571,6	346,9	2430	1156
V2 160x160	0.35	0,83	625,5	733,6	11175	3231
V2 160x160	0.5	0,9	949,5	768,7	12796	5167
V2 160x160	0.75	0,95	1600	1400	8740	10725
V2 160x160	1		2500	1500	29193	25154

Для використання моделей MobileNetV2 96 x 96 з множниками ширини $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.1$ та $\alpha = 0.35$ необхідно щоб об'єм RAM мікроконтролера складав не менше ніж 512 кБайт. Таку оперативну пам'ять мають, наприклад, високопродуктивні і більш дорогі мікроконтролери від компанії STMicroelectronics з ядром ARM Cortex-M7. Для моделей MobileNetV2 96 x 96 з $\alpha = 0.05$ та $\alpha = 0.1$ необхідний розмір RAM більше ніж розмір FLASH. Ця особливість підкреслює, що моделі MobileNetV2 більш вимогливі до ресурсів пам'яті і в першу чергу до об'єму оперативної пам'яті. Тому для розпізнавання зображень використовується додаткова зовнішня пам'ять.

Використання моделі MobileNetV2 з матрицею зображень 160 x 160 є найбільш ресурсомістким. MobileNetV2 160x160 потребує не менше ніж 700 кБайт RAM для значень $\alpha = 0.35$ та $\alpha = 0.5$, найближче більше стандартне значення розміру RAM є 1 МБайт. Для $\alpha = 0.75$ та $\alpha = 1$ розмір оперативної пам'яті має становити 2 МБайт і більше. Таку оперативну пам'ять мають високопродуктивні процесори, призначені для обробки даних, але це вже не клас мікроконтролерних систем. Тому використання зовнішньої оперативної пам'яті, яка підключається за допомогою високошвидкісного інтерфейсу, наприклад SPI, є простим і недорогим рішенням. На платі ESP-EYE реалізовано саме такий варіант, хоча для моделі MobileNetV2 160 x 160 з $\alpha = 1$ (в таблиці рядок зі значеннями необхідної FLASH та RAM виділено жирним) у мікроконтролера не вистачило пам'яті. Необхідно зауважити, що час розпізнавання залежить від продуктивності мікроконтролера з високою тактовою частотою та скороченим часом виконання обчислювальних операцій виконують цю операцію швидше. Хоча і коштують дорожче.

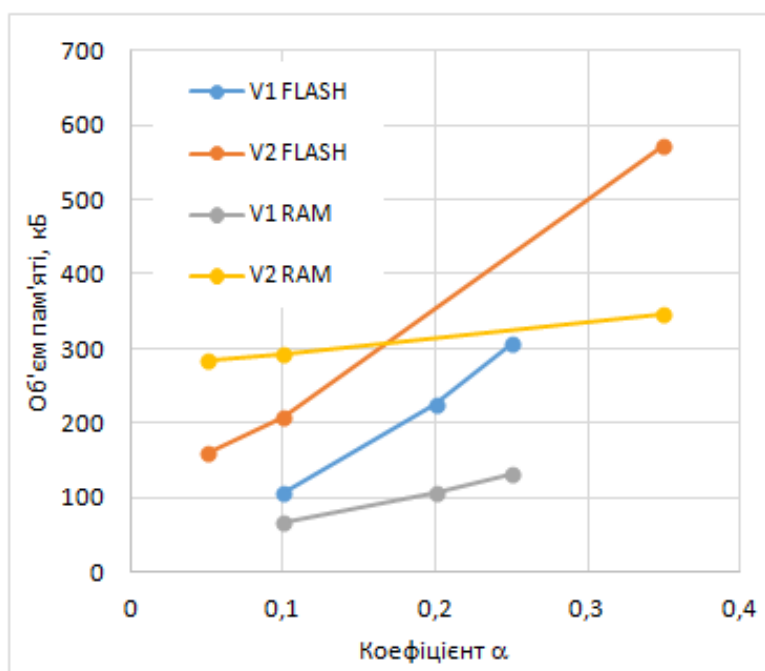


Рис. 4. Залежність об'єму використаної пам'яті мікроконтролера від значення коефіцієнту α

В таблиці 1 наведені значення точності (або імовірності) та час розпізнавання в залежності від значення коефіцієнта α для моделі нейронної мережі MobileNetV2 160x160. Розглянута модель забезпечує точність розпізнавання в межах 0,83–0,95, що є дуже хорошим значенням для переважної більшості застосунків. Однак час, який витрачається модулем ESP-EYE з тактовою частотою в 240 МГц для розпізнавання є дуже довгим. Зокрема для значення

$\alpha = 0.75$ час розпізнавання складає понад 10с, що може бути неприйнятним для швидкого розпізнавання. Таким чином, модель MobileNetV2 160x160 може використовуватись з певними обмеженнями 32-х бітними мікроконтролерами загального призначення через низьку продуктивність навіть при наявності достатнього об'єму оперативної пам'яті. Більш доцільним в таких умовах є використання моделей MobileNet з меншою роздільною здатністю, а саме з розміром зображення 96x96 пікселя.

Таким чином, аналіз наведених в таблиці даних показує, що модель мережі MobileNetV2 не має чітко виражених переваг над моделлю MobileNetV1. Модель MobileNetV2 використовує в 2–2,5 рази більше оперативної пам'яті і має в декілька разів довший час розпізнавання (в залежності від значення коефіцієнта α) ніж MobileNetV1, хоча забезпечує дещо кращу якість розпізнавання. Якщо порівняти характеристики моделей MobileNet V1 та V2 для $\alpha = 0.1$, то можна побачити, що точність розпізнавання для версії моделі V2 складає 0,57 у той час як для версії V1 є 0,52. Однак такий достатньо невеликий приріст у точності обходиться збільшенням розміру моделі практично у двічі (FLASH), збільшенням об'єму задіяної оперативної пам'яті у 4 рази та збільшення часу розпізнавання також у 4 рази. Графіки залежності об'єму використаної пам'яті мікроконтролера від значення коефіцієнту α наведено на рис. 4.

З рис. 4 можна зробити висновок що, у версії V2 збільшення необхідних ресурсів зростає значно стрімкіше, ніж V1. Тому для застосування у системах з обмеженими ресурсами для аналізу малих образень більше підходить MobileNetV1.

Висновки. В результаті експериментальних досліджень використання моделей нейронних мереж MobileNetV1 та MobileNetV2 для розпізнавання зображень 96x96 пікселів встановлено, що розгортання і робота нейронної мережі на 32-х бітних мікроконтролерах можливі за умови достатнього розміру вбудованих пам'яті програм та оперативної пам'яті. Модель MobileNetV1 для $\alpha = 0.1$ може бути використана у мікроконтролерах зі розміром RAM від 96 кБайт. Модель MobileNetV1 з іншими значеннями α потребує використання мікроконтролера з 256 кБайт і більше вбудованої оперативної пам'яті, що не є проблемою для реалізації.

При розпізнаванні зображень з більшою роздільною здатністю, зокрема 160x160 пікселів, за допомогою нейронних мереж MobileNetV2 зростає об'єм необхідної пам'яті мікроконтролера, в першу чергу оперативної. Проблема можна вирішити використанням зовнішньої пам'яті. Також збільшується час розпізнавання. У цьому випадку потрібно використовувати більш продуктивні мікроконтролери, що здорожує вирішення задачі розпізнавання.

Аналіз порівняння характеристик моделей нейронних мереж MobileNetV1 та MobileNetV2, пропонованих Edge Impulse, показує, що хоча модель версії V2 має вищу точність розпізнавання ніж модель версії V1, час розпізнавання значно більший ніж у моделі MobileNetV1. Крім того об'єми потрібної FLASH та оперативної пам'яті у декілька разів перевищують аналогічні параметри моделі версії V1. Отже системи розпізнавання зображень на 32-х бітних мікроконтролерах типу Tensilica Xtensa LX6 та їм аналогічних краще будувати на моделі мережі MobileNetV1 з використанням додаткової оперативної пам'яті.

References

Література

- | | |
|--|---|
| <p>1. Paluru, N. et al. (2021). Anam-Net: Anamorphic Depth Embedding-Based Lightweight CNN for Segmentation of Anomalies in COVID-19 Chest CT Images. In: <i>IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems</i>, Vol. 32, No. 3, P. 932–946. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3054746.</p> | <p>1. Paluru N. et al. Anam-Net: Anamorphic Depth Embedding-Based Lightweight CNN for Segmentation of Anomalies in COVID-19 Chest CT Images. In: <i>IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems</i>. 2021. Vol. 32, No. 3. P. 932–946. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3054746.</p> |
|--|---|

2. Çalik, R. C., Demirci, M. F. (2018). Cifar-10 Image Classification with Convolutional Neural Networks for Embedded Systems. *2018 IEEE/ACS 15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, 2018, P. 1–2. DOI: 10.1109/AICCSA.2018.8612873.
3. Hidayatulloh, A., Nursalman, M., Nugraha, E. (2018). Identification of Tomato Plant Diseases by Leaf Image Using Squeezenet Model. *2018 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, 2018, P. 199–204. DOI: 10.1109/ICITSI.2018.8696087.
4. Phu, H. V., Minh Tan, T., Van Men, P., Van Hieu, N., Van Cuong, T. (2019). Design and Implementation of Configurable Convolutional Neural Network on FPGA. *2019 6th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS)*, 2019, P. 298–302. DOI: 10.1109/NICS48868.2019.9023810.
5. Thalagala, S., Walgampaya, C. (2021). Application of AlexNet convolutional neural network architecture-based transfer learning for automated recognition of casting surface defects. *2021 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)*, 2021, P. 129–136. DOI: 10.1109/SCSE53661.2021.9568315.
6. Jiuxiang Gu, Zhenhua Wang, Jason Kuen, Lianyang Ma, Amir Shahroudy, Bing Shuai, Ting Liu, Xingxing Wang, Li Wang, Gang Wang, Jianfei Cai, Tsuhan Chen (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, Vol. 77, P. 354–377. DOI: 10.1016/j.patcog.2017.10.013.
7. Mahardi, Wang, I., Lee, K. C., Chang, S. (2020). Images Classification of Dogs and Cats using Fine-Tuned VGG Models. *2020 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE)*, 2020, P. 230–233. DOI: 10.1109/ECICE50847.2020.9301918.
8. Weerasekara, D. T., Gamage, M. P. A. W., Kulasooriya, K. S. A. F. (2021). Combined Approach of Supervised and Unsupervised learning for Dog Face Recognition. *2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 2021, P. 1–5. DOI: 10.1109/I2CT51068.2021.9418175.
9. de Vita, F., Nocera, G., Bruneo, D., Tomaselli, V., Giacalone, D., Das, S. K. (2020). Quantitative Analysis of Deep Leaf: a Plant Disease Detector on the Smart Edge. *2020 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*, 2020, P. 49–56. DOI: 10.1109/SMARTCOMP50058.2020.00027.
2. Çalik R. C., Demirci M. F. Cifar-10 Image Classification with Convolutional Neural Networks for Embedded Systems. *2018 IEEE/ACS 15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*. 2018. P. 1–2. DOI: 10.1109/AICCSA.2018.8612873.
3. Hidayatulloh A., Nursalman M., Nugraha E. Identification of Tomato Plant Diseases by Leaf Image Using Squeezenet Model. *2018 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*. 2018. P. 199–204. DOI: 10.1109/ICITSI.2018.8696087.
4. Phu H. V., Minh Tan T., Van Men P., Van Hieu N., Van Cuong T. Design and Implementation of Configurable Convolutional Neural Network on FPGA. *2019 6th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS)*. 2019. P. 298–302. DOI: 10.1109/NICS48868.2019.9023810.
5. Thalagala S., Walgampaya C. Application of AlexNet convolutional neural network architecture-based transfer learning for automated recognition of casting surface defects. *2021 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)*. 2021. P. 129–136. DOI: 10.1109/SCSE53661.2021.9568315.
6. Jiuxiang Gu, Zhenhua Wang, Jason Kuen, Lianyang Ma, Amir Shahroudy, Bing Shuai, Ting Liu, Xingxing Wang, Li Wang, Gang Wang, Jianfei Cai, Tsuhan Chen. Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*. 2018. Vol. 77. P. 354–377. DOI: 10.1016/j.patcog.2017.10.013.
7. Mahardi, Wang I., Lee K. C., Chang S. Images Classification of Dogs and Cats using Fine-Tuned VGG Models. *2020 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE)*. 2020. P. 230–233. DOI: 10.1109/ECICE50847.2020.9301918.
8. Weerasekara D. T., Gamage M. P. A. W., Kulasooriya K. S. A. F. Combined Approach of Supervised and Unsupervised learning for Dog Face Recognition. *2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 2021, P. 1–5. DOI: 10.1109/I2CT51068.2021.9418175.
9. de Vita F., Nocera G., Bruneo D., Tomaselli V., Giacalone D., Das S. K. Quantitative Analysis of Deep Leaf: a Plant Disease Detector on the Smart Edge. *2020 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*. 2020. P. 49–56. DOI: 10.1109/SMARTCOMP50058.2020.00027.

10. Keshavamurthy, Mariyam, S. J., Meghamala, M., Meghashree, M., Neha (2019). Automatized Food Quality Detection and Processing System Using Neural Networks. *2019 4th International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT)*, 2019, P. 1442–1446. DOI: 10.1109/RTEICT46194.2019.9016919.
11. Howard, G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T. et al. (2017). Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint arXiv*, 17 Apr 2017, P. 1–9. DOI: 10.48550/arXiv.1704.04861.
12. Hossain, D., Imtiaz, M. H., Ghosh, T., Bhaskar, V., Sazonov, E. (2020). Real-Time Food Intake Monitoring Using Wearable Egocnetric Camera. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2020, P. 4191–4195. DOI: 10.1109/EMBC44109.2020.9175497.
13. Thadeshwar, H., Shah, V., Jain, M., Chaudhari, R., Badgujar, V. (2020). Artificial Intelligence based Self-Driving Car. *2020 4th International Conference on Computer, Communication and Signal Processing (ICCCSP)*, 2020, P. 1–5. DOI: 10.1109/ICCCSP49186.2020.9315223.
14. Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., Chen, L.-C. (2018). MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018, P. 4510–4520. DOI: 10.1109/CVPR.2018.00474.
15. Teng, T. W., Veerajagadheswar, P., Ramalingam, B., Yin, J., Elara Mohan, R., Gómez, B. F. (2020). Vision Based Wall Following Framework: A Case Study With HSR Robot for Cleaning Application. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2020, Vol. 20(11): 3298. DOI: 10.3390/s20113298.
16. Wang, Y., Yan, J., Sun, Q., Li, J., Yang, Z. (2019). A MobileNets Convolutional Neural Network for GIS Partial Discharge Pattern Recognition in the Ubiquitous Power Internet of Things Context: Optimization, Comparison, and Application. In: *IEEE Access*, Vol. 7, P. 150226–150236. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2946662.
17. Edge impulse. *edgeimpulse.com*. URL: <https://www.edgeimpulse.com/>
18. ESP-EYE Development Board. *espressif.com*. URL: <https://www.espressif.com/en/products/devkits/esp-eye/overview>.
10. Keshavamurthy, Mariyam S. J., Meghamala M., Meghashree M., Neha. Automatized Food Quality Detection and Processing System Using Neural Networks. *2019 4th International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT)*. 2019. P. 1442–1446. DOI: 10.1109/RTEICT46194.2019.9016919.
11. Howard G., Zhu M., Chen B., Kalenichenko D., Wang W., Weyand T. et al. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint arXiv*. 17 Apr 2017. P. 1–9. DOI: 10.48550/arXiv.1704.04861.
12. Hossain D., Imtiaz M. H., Ghosh T., Bhaskar V., Sazonov, E. Real-Time Food Intake Monitoring Using Wearable Egocnetric Camera. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2020, P. 4191–4195. DOI: 10.1109/EMBC44109.2020.9175497.
13. Thadeshwar H., Shah V., Jain M., Chaudhari R., Badgujar V. Artificial Intelligence based Self-Driving Car. *2020 4th International Conference on Computer, Communication and Signal Processing (ICCCSP)*. 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/ICCCSP49186.2020.9315223.
14. Sandler M., Howard A., Zhu M., Zhmoginov A., Chen L.-C. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2018. P. 4510–4520. DOI: 10.1109/CVPR.2018.00474.
15. Teng T. W., Veerajagadheswar P., Ramalingam B., Yin J., Elara Mohan R., Gómez B. F. Vision Based Wall Following Framework: A Case Study With HSR Robot for Cleaning Application. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2020. Vol. 20(11). 3298. DOI: 10.3390/s20113298.
16. Wang Y., Yan J., Sun Q., Li J., Yang Z. A MobileNets Convolutional Neural Network for GIS Partial Discharge Pattern Recognition in the Ubiquitous Power Internet of Things Context: Optimization, Comparison, and Application. In: *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 150226–150236. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2946662.
17. Edge impulse. *edgeimpulse.com*. URL: <https://www.edgeimpulse.com/>
18. ESP-EYE Development Board. *espressif.com*. URL: <https://www.espressif.com/en/products/devkits/esp-eye/overview>.

DENISOV ROSTYSLAV

Post graduate student,
Department of Acoustic and
Multimedia Electronic Systems,
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1146-9114>
E-mail: rostikdenisov@gmail.com

Onykiienko Yu.O.

PhD, Associate Professor
Department of Acoustic and
Multimedia Electronic Systems,
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7508-8391>
Scopus Author ID: 55819618700
Researcher ID: J-6589-2017
E-mail: yurionik@gmail.com

DENISOV R. V., ONYKIIENKO Yu. O.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

PECULIARITIES OF IMAGE RECOGNITION BY NEURAL NETWORKS ON THE EXAMPLE OF MOBILENETV1 AND MOBILENETV2 IN MICROCONTROLLER SYSTEMS

Purpose. Research on the dependence of the amount of microcontroller memory used and the image recognition time on the type of convolutional neural network MobileNet V1 or V2 and their hyperparameters.

Methodology. Creating a database of images necessary for training a neural network using the Edge Impulse software platform with subsequent loading of the network into the memory of a 32-bit microcontroller ESP32 for practical evaluation of network characteristics.

Findings. A comparison of the characteristics of MobileNetV1 and MobileNetV2 neural networks was made. Experiments were conducted to determine the dependence of the recognition time of selected objects on the image, the amount of used RAM and program memory, based on the ESP-EYE microcontroller with a camera, depending on the network width ratio, image size and convolutional neural architecture network. It was determined that the time of image classification for the MobileNetV2 network model takes from three to ten seconds or more, which is not acceptable for fast recognition tasks. It was also found that the microcontroller program memory is insufficient to analyze the 160 by 160 pixel images with the maximum network width of the MobileNetV2 model. Using the MobileNetV1 network provides slightly lower recognition accuracy, but requires significantly less microcontroller resources and time.

Originality. The peculiarities of the use, possibilities and limitations of neural networks for image recognition in systems based on ESP32 microcontrollers have been verified in practice. The dependence of the amount of memory used on the microcontroller and the time of image recognition on the type of convolutional neuron was established in order to select additional image processing tools to improve the quality of recognition.

Practical value. The obtained results allow the proper selection of the MobileNetV1 or MobileNetV2 neural network depending on the specific tasks of image recognition by systems on microcontrollers.

Keywords: microcontrollers; image recognition; convolutional neural networks; Edge Impulse; MobileNet.

УДК 697.1

^{1,2}ДЕШКО В. І., ^{1,3}БІЛОУС І. Ю., ¹БУЯК Н. А., ¹САПУНОВ А. О.

¹Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

² Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна

³ Інститут загальної енергетики НАН України, Україна

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В ДИТЯЧОМУ САДКУ, ТА ЙОГО ВПЛИВ НА РІВЕНЬ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ

Вступ. Люди проводять близько 90% свого часу в приміщенні, тому комфортне теплове середовище в приміщенні має важливе значення для високого рівня продуктивності і гарного самопочуття. Оцінка теплового комфорту в приміщенні є ключовим моментом при проектуванні і експлуатації системи опалення і вентиляції, а також при підвищенні енергоефективності будівель.

Мета. Підвищення енергоефективності будівель та оцінка зміни теплового комфорту для високочутливих верств населення на прикладі відвідувачів дитячого садочку при покращенні теплового захисту.

Методика. Дослідження виконуються з використання комп'ютерного моделювання у програмному забезпеченні DesignBuilder.

Результати. За допомогою комп'ютерного моделювання визначили енергопотребу, додаткові теплові надходження та теплові втрати будівлі з різним рівнем теплового захисту та з різними режимами роботи опалення та вентиляції. Дослідили вплив підвищення рівня енергоефективності на тепловий комфорт.

Наукова новизна. Дослідження впливу підвищення рівня ефективності споживання енергії будівлі на рівень теплового комфорту за допомогою комп'ютерного моделювання.

Практична значимість. За допомогою комп'ютерного моделювання побудовано 3D модель і визначено енергоспоживання будівлі до та після підвищення рівня ефективності споживання енергії а також вплив модернізації будівлі на рівень теплового комфорту.

Ключові слова. енергозбереження; умови комфортності; комп'ютерне моделювання; дошкільний навчальний заклад.

Вступ. У зв'язку з тим, що жителі будинку відіграють важливу роль в експлуатації будівлі і, більш того, в підвищенні енергоефективності будівель, оцінка теплового комфорту в них важлива не тільки для будівництва проектування і експлуатації, а також для підвищення енергоефективності. Сприйняття жителями будинку теплового комфорту в приміщенні зазвичай відноситься до їх відчуття комфорту в кімнаті, наприклад, в кімнаті жарко, холодно або нейтрально і так далі, це не являє собою пряме відчуття температури повітря в приміщенні. Крім того є верстви населення які особливо чутливі до вимог теплового комфорту – це діти та літні люди, по-різному в однакових умовах почувають себе жінки та чоловіки.

Як правило, найбільш поширені стандарти теплового комфорту ґрунтуються на адаптивних або стаціонарних моделях. Більшість адаптивних моделей засновані за результатами одночасного збору даних про тепловий стан довкілля та теплова реакція суб'єктів, з визначенням параметрів теплового режиму в приміщенні, що задовольняють очікуванням мешканців. Представлення адаптивної моделі зазвичай забезпечують експериментальні співвідношення, в яких температура теплового комфорту є функцією температури зовнішнього повітря [1, 2]. Серед стаціонарних моделей найбільш часто використовується модель індексу теплового комфорту (PMV), яка була розроблена Фангером [3] кілька десятиліть тому, і до цих пір лежить в основі багатьох досліджень теплового комфорту [4–9]. Індекс PMV є функцією шести параметрів і, згідно з ISO 7726 [10], чотири з них – об'єктивні параметри навколишнього середовища (температура, швидкість та вологість

повітря, середня радіаційна температура). Два інших параметра є суб'єктивними факторами, ізоляція одягу і швидкістю метаболізму, їх оцінка описана в стандартах ISO 9920 [11] і 8896 [12] відповідно. В контексті суб'єктивних факторів швидкість метаболізму людини є основним для оцінки теплового комфорту, як показано в кількох дослідженнях [13, 14].

Постановка завдання. Проведені дослідження у садочку показали, що діти (4-5 років) розуміють концепцію комфорту і можуть визначити свій усвідомлюваний і бажаний рівень теплового комфорту. Крім того, зрозуміло, що PMV у дітей дещо вищий, ніж у дорослих [15]. Особлива увага приділяється індивідуальним вимогам до питань теплового комфорту, обумовлених статтю, вік тощо. Як наслідок перехід від парадигми централізованого забезпечення якості мікроклімату до персоналізованих систем [16].

Тому метою дослідження є підвищення енергоефективності будівель та оцінка зміни теплового комфорту для високочутливих верств населення на прикладі відвідувачів дитячого садочку при зменшенні енергоспоживання. Оцінка впливу орієнтації будівлі, рівня теплового захисту в динаміці на відчуття теплового комфорту, а саме на PMV.

Опис об'єкта дослідження та основних параметрів моделювання. Об'єктом дослідження є дошкільний навчальний заклад № 630 (ясла-садок) який розташований у м. Київ. Навчальний заклад заснований у 1951 році. На рис. 1 зображено розташування за сторонами світу, загальний вигляд моделі ДНЗ №630 у Designbuilder. У ДНЗ даний час навчається 84 дитини, які поділено на 4 групи по 21 дитині, працює 25 осіб персоналу.

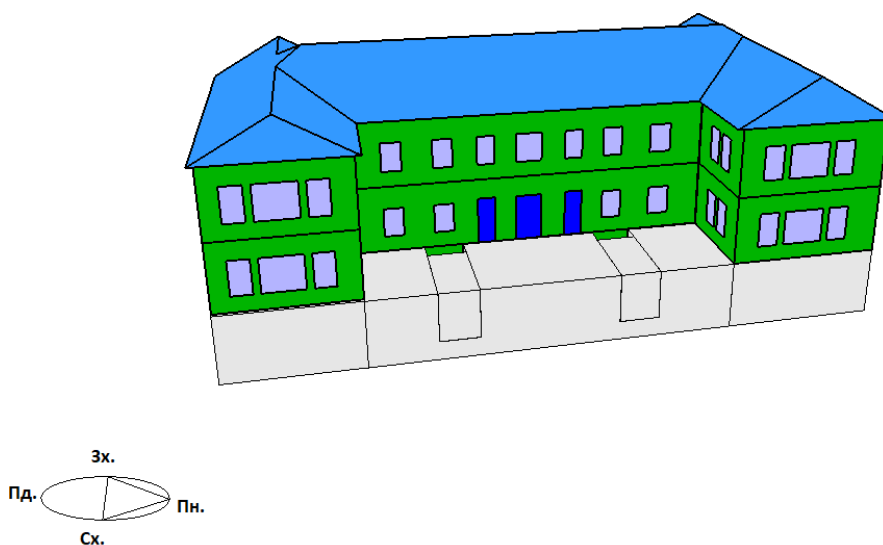


Рис. 1. Модель будівлі у Design builder

Загальна інформація про ДНЗ №630 наведена в табл. 1. Зовнішні стіни з 1-го по 2-ий поверх включно виконані із червоної цегли, кладка подвійна, товщина стіни 520 мм. Стіна складається з кількох шарів: цегляна кладка з цементним розчином – 500 мм, штукатурка внутрішня 20 мм. Вікна у ДНЗ з подвійним склінням у металопластикових склопакетах 4М₁-16-4М₁-16-4М₁. Горище перекриття дерев'яне, утеплено шаром керамзиту.

Таблиця 1

Загальна інформація

Загальна площа будівлі, м ²	1299,68	Опалювальна площа, м ²	918
Загальний об'єм, м ³	3517,91	Опалювальний об'єм, м ³	2599,36
Висота приміщення, м ²	3	Кількість поверхів	2
Площа ігрових кімнат, м ²	297	Площа спальних кімнат, м ²	78,16

В умовах актуальності розвитку та впровадження концепції будівля з майже нульовим споживанням енергії, для аналізу рівня теплового комфорту використовується базовий варіант (теплотехнічні параметри відповідають існуючим) та варіант для якого параметри будівлі відповідають вимогам які представляються у Швеції, всі дані щодо термічного опору для базового варіанту та варіанту після термосанації представлено у табл.2.

Таблиця 2

Характеристики огорожувальних конструкцій ДНЗ №630

Вид огорожувальної конструкції	Значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, (м ² ·К)/Вт		Площа А, м ²
	Існуюче приведенне значення	Мінімальні вимоги Швеції	
Зовнішні стіни	1.02	5.84	990
Горищні перекриття неопалюваних горищ	1.13	9.5	459
Перекриття над проїздами та неопалюваними підвалами	0.52	1	170
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0.52	1	129
Зовнішні двері	0.49	1.05	19.48

Опалення здійснюється від через тепловпункту, який знаходиться в підвальному приміщенні ДНЗ, в базовому варіанті без регулювання опалення та вентиляції у неробочі години. Внутрішня температура встановлена на 22°C та кратність повітря обміну 1.5 год⁻¹ відповідно до стандарту EN 12831 [17]. Як варіант енергозбереження розглядається можливість використання регулювання опалення та вентиляції у неробочі години. При запровадженні чергового режиму опалення внутрішня температуру у неробочі години понижена до 18°C и за 2 години до робочого часу підвищується до 22°C, кратність повітрообміну в неробочі години становить 0.75 год⁻¹, що відображено на рис. 2.

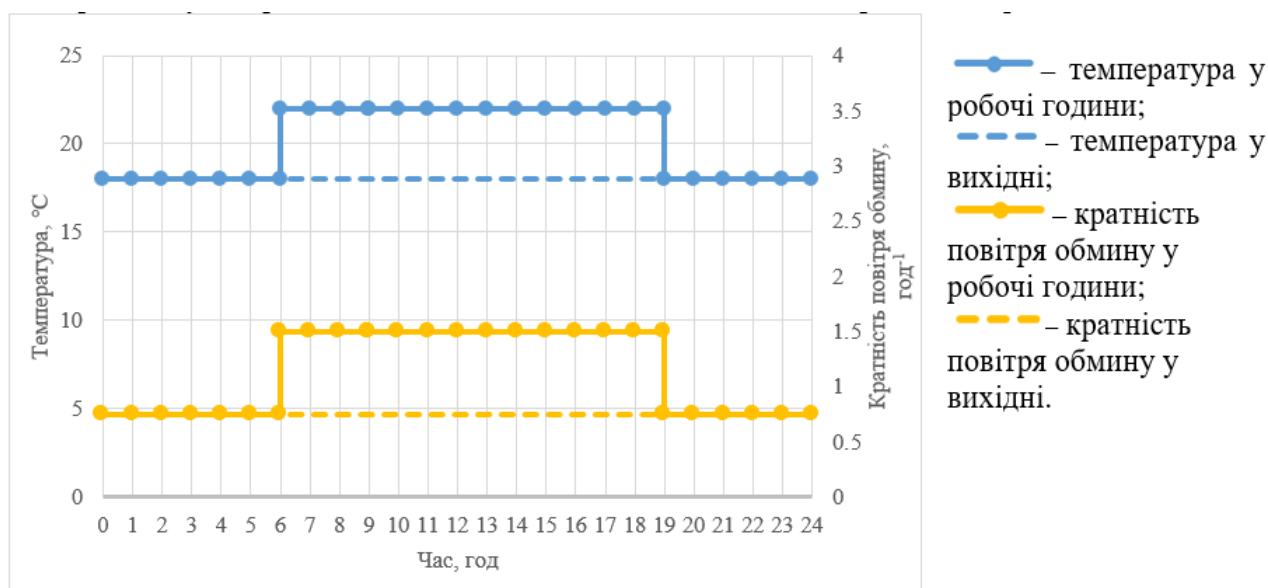


Рис. 2. Добовий графік температури повітря та кратності повітрообміну будівлі дитячого садочка

Добовий графік присутності людей та дітей у різних приміщеннях будівлі відображено на рис. 3. У дитячому садочку на кухні працюють з 7–17 годину, враховано, що в ігровій діти знаходяться з 9–13 і з 17–18, у спальні з 13–16.

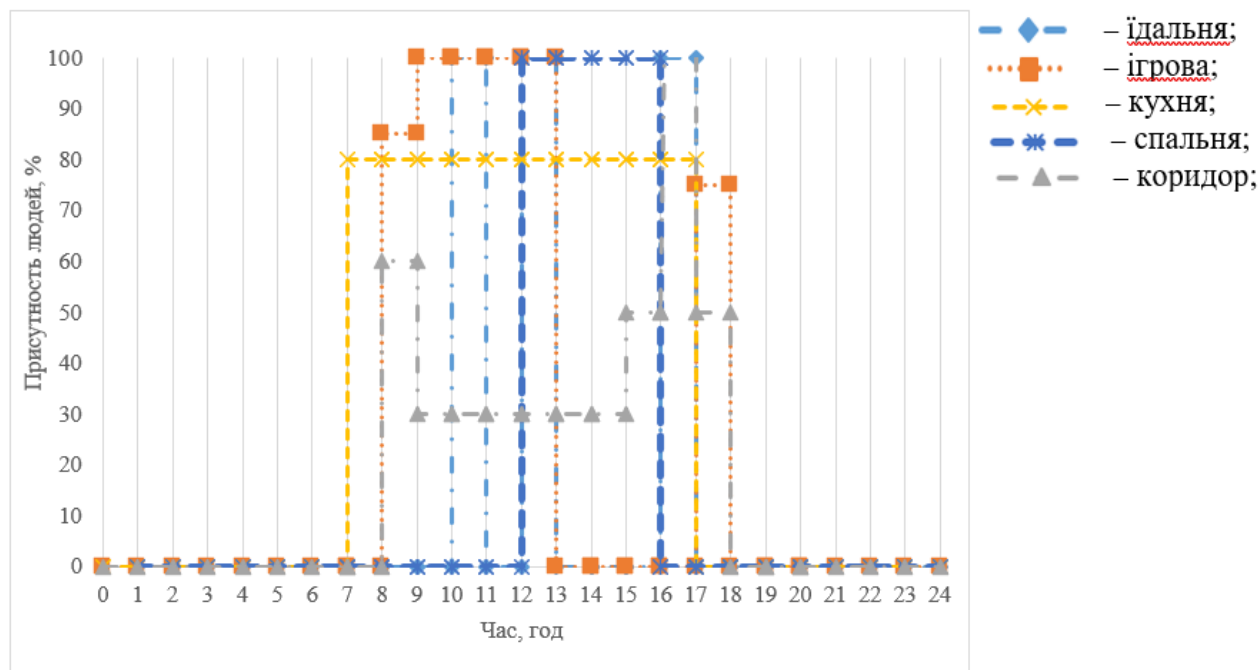


Рис. 3 Добовий графік присутності людей у будівлі дитячого садочка

Серед суб'єктивних параметрів теплового комфорту виділяють метаболізм M та термічний опір одягу людини I_{clo} . Для розрахунків значення M прийнято різним для різних кімнат, що залежить від активності присутніх: ігрова кімната – 180 Вт; столова кімната – 125 Вт; спальня кімната – 83 Вт; кухня – 180 Вт; кабінет – 123 Вт. Метаболізм в DesignBuilder є сталою величиною, яка притаманна кількості теплоти що виділяє дорослий чоловік із типовою площею поверхні $1,8 \text{ м}^2$. Оскільки у садочку працюють в основному жінки та знаходяться діти, тому використовується метаболічний фактор який був встановлений на рівні 0.75 (для дітей), окрім кухні та кабінету в яких встановлено 0.85 (для жінок).

Наступний показник теплового комфорту – термічний опір одягу, який встановлений на рівні 1(clo) в зимовий час, в літній становить 0.5. У спальні даний параметр встановлено на рівні 3.5, що визначається термічним опором ковдри.

Результати моделювань у Design Builder. На основі проведених моделювань визначено значення енергопотреб, додаткові теплові надходження та теплові втрати будівлі з різним рівнем теплового захисту та з різними режимами роботи опалення та вентиляції. Базовий варіант відповідає існуючому рівню термічного опору огорожень, також розглядається базовий варіант і з переривчастим опаленням та вентиляцією, ще один – огороження відповідають нормам Швеції, та для норм Швеції додано переривчасте опалення. Підвищення термічного опору від базового варіанту до норм Швеції знижує енергопотребу на 32% у порівнянні з базовим варіантом. Впровадження переривчастого опалення обумовлює зниження енергопотреб на 14% для садочку відповідно у порівнянні з базовим варіантом. Переривчасте опалення та вентиляція та підвищення теплового захисту до норм Швеції дозволяє отримати зниження енергопотреб на 42%, що представлено на рис. 4. Було досліджено баланс додаткових теплових надходжень та теплових втрат для базового варіанту який переставлено на рис. 5. та рис. 6 відповідно для опалювального сезону (базовий варіант).

Найбільші додаткові теплові надходження до будівлі надходять від людей і складають 50% від загального показника, а найбільші втрати відбуваються через інфільтрацію, порівно з будівлями іншого призначення складова теплових втрати з повітря обміну значно більші, враховуючі особливості умов комфортності дошкільних закладів.

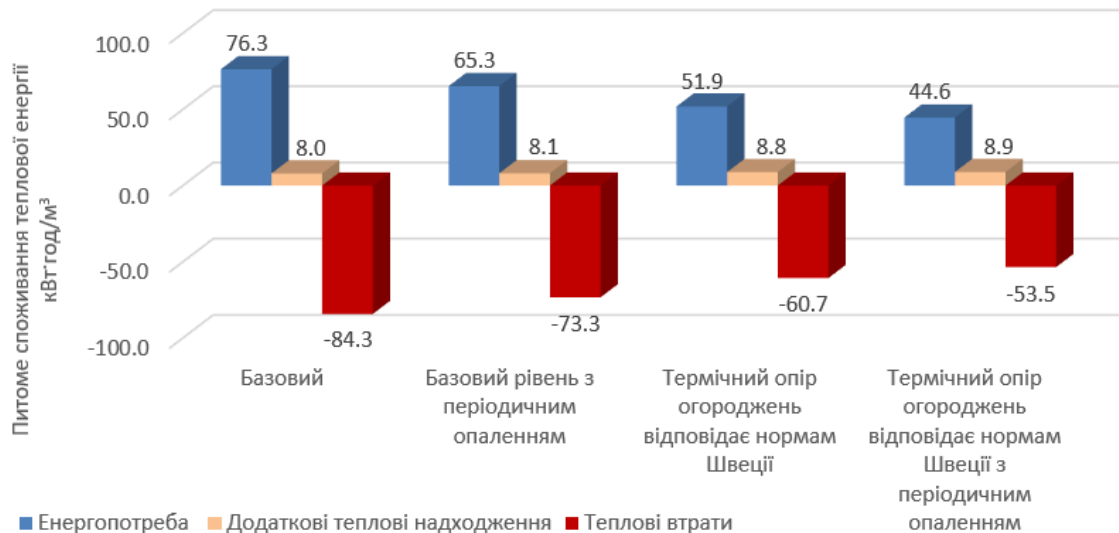


Рис. 4. Енергопотреба, додаткові теплові надходження та теплові втрати з різним рівнем теплового захисту та з різними режимами роботи опалення та вентиляції



Рис. 5. Баланс додаткових теплових надходжень

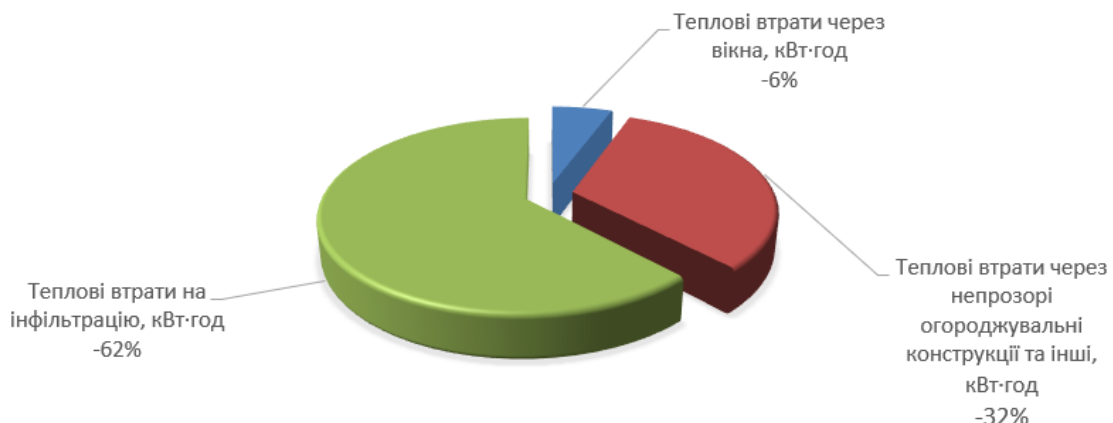


Рис. 6. Баланс теплових втрат

Динаміка добового теплового споживання в ігровій та спальній кімнаті в садочку з різним рівнем теплового захисту та з різними режимами роботи опалення та вентиляції за лютий представлено на рис. 7. Встановлено що максимальне значення добового теплового споживання для базового варіанту за лютий становить 0.55 кВт/м³ та 0.67 кВт/м³ для ігрової та спальної кімнати відповідно, застосування переривчастого опалення та вентиляції знижує цю величину на 21%, підвищення термічного опору на 23% в ігровій кімнаті, та 31% для спальні, сумісний вплив цих заходів знижує теплове навантаження на 37% та 46% в термічний опір огорожень відповідає нормам Швеції + переривчасте опалення та вентиляція.

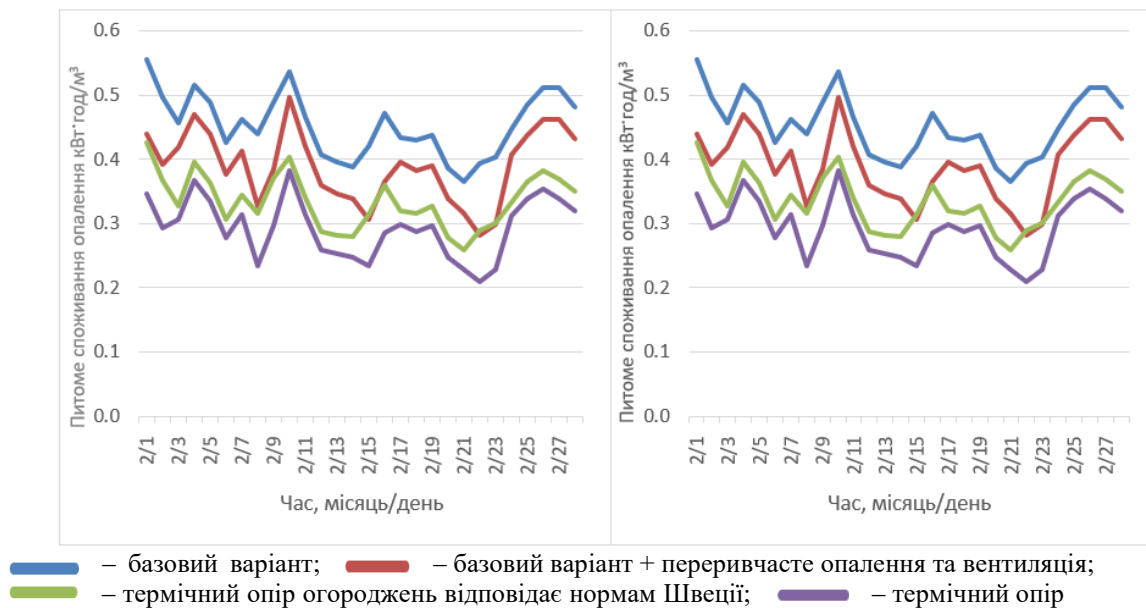


Рис. 7. Добове теплове споживання опалення в ігровій (а) та спальній (б) кімнаті садочку

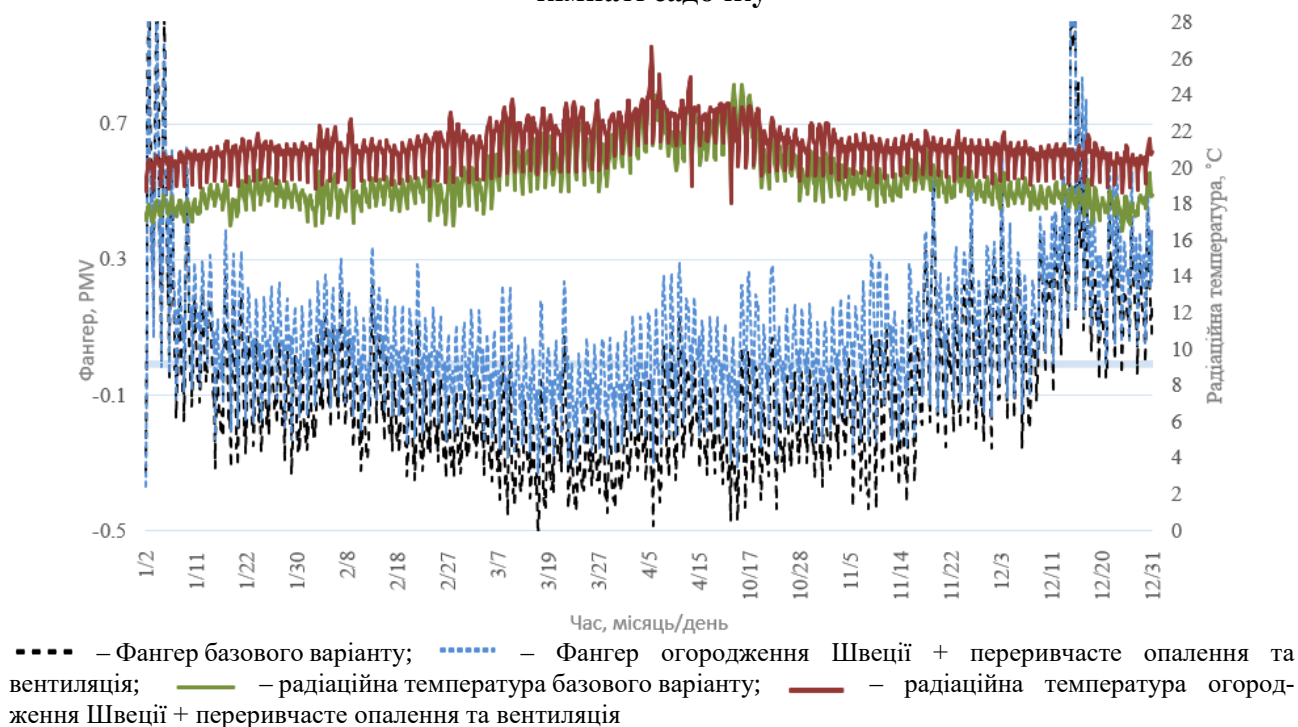


Рис. 8. Впливу підвищення рівня енергоефективності на тепловідчуття дітей та значення середньої радіаційної температури

Для оцінки впливу підвищення рівня енергоефективності на тепловідчуття дітей на рис. 8, представлено динаміку зміни PMV та радіаційної температури як основного фактору впливу на зміну PMV, для ігрової кімнати для базового варіанту та варіанту у якому огороження відповідають нормам Швеції та використовується переривчасте опалення та вентиляція. На початку і вкінці опалювального періоду PMV суттєво перевищує допустимі значення від -0.5 – 0.5 і досягає 1 , підвищення термічного опору ще підвищує ці значення. Таке підвищення говорить про можливість зниження температури повітря у приміщенні, що суттєво покращить тепловідчуття дітей, тобто їм не буде жарко, а також зменшить споживання енергії на опалення. Оскільки зниження температури в приміщенні приведе і до зниження середньої радіаційної температури це вимагатиме додаткових досліджень. Для базового варіанту найнижчі значення PMV -0.5 , для утепленого -0.3 .

Висновки. Показано, що, застосування переривчастого опалення та вентиляції знижує значення теплового навантаження на 14% , підвищення термічного опору на 32% сумісний вплив на 42% .

Дослідили динаміку зміни PMV для дітей у приміщеннях для базового варіанта та варіанту у якому огороження відповідають нормам Швеції та використовується переривчасте опалення та вентиляція. З наведених результатів бачимо що з підвищенням термічного опору огороження не лише зменшується енергоспоживання а і поліпшується рівень теплового комфорту в приміщеннях.

В подальшому заплановано комплексний аналіз цих параметрів, що дозволить обрати оптимальний режим опалення та ще зменшити теплове навантаження на будівлю.

References

1. Yao, R., Li, B., Liu, J. A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Build. Environ.*
2. Nicol, J. F., Humphreys, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy Build.*
3. Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.
4. Zhang, G., Zheng, C., Yang, W., Zhang, Q. and Moschandreas, D. J. (2007). Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region. *Indoor Built Environ.*
5. Wan, M. P., Chao, C. Y. (2002). Experimental study of thermal comfort in an office environment with an underfloor ventilation system. *Indoor Built Environ.*, 11(5): 250–265. <https://doi.org/10.1159/000066525>.
6. Zampetti, L., Arnesano, M., Revel, G. M. (2018). Experimental testing of a system for the energy-efficient sub-zonal heating management in indoor environments based on PMV. *Energy Build.*, 166: 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.019>.
7. Revel, G. M., Arnesano, M. (2014). Perception of the thermal environment in sports facilities through subjective

Література

1. Yao R., Li B., Liu J. A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Build. Environ.*
2. Nicol J. F., Humphreys M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy Build.*
3. Fanger P. O. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. 1970.
4. Zhang G., Zheng C., Yang W., Zhang Q. and Moschandreas D. J. Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region. *Indoor Built Environ.* 2007.
5. Wan M. P., Chao C. Y. Experimental study of thermal comfort in an office environment with an underfloor ventilation system. *Indoor Built Environ.* 2002. # 11(5). P. 250–265. <https://doi.org/10.1159/000066525>.
6. Zampetti L., Arnesano M., Revel G. M. Experimental testing of a system for the energy-efficient sub-zonal heating management in indoor environments based on PMV. *Energy Build.* 2018. # 166. P. 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.019>.
7. Revel G. M., Arnesano M. Perception of the thermal environment in sports facilities through subjective approach. *Build. Environ.* 2014. # 77.

- approach. *Build. Environ.*, 77: 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.017>.
8. Revel, G. M., Arnesano, M. (2014). Measuring overall thermal comfort to balance energy use in sports facilities. *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 55: 382–393. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.05.027>.
9. Fanger, P. O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *British J. Industrial Med.*, 30 (4): 313–324. <https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313>.
10. ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. ISO Stand. 1998.
11. ISO 9920 Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Int. Stand. Organ., 2006.
12. BS EN ISO 89962004 Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate. 2004.
13. Luo, M., Wang, Z., Ke, K., Cao, B., Zhai, Y., Zhou, X. (2018). Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge. *Build. Environ.*, 131: 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.005>.
14. Calvaresi, A., Arnesano, M., Pietroni, F., G. Revel, M. (2018). Measuring metabolic rate to improve comfort management in buildings. *Environ. Eng. Manag. J.*, 17 (10): 2287–2296. <https://doi.org/10.30638/eemj.2018.227>.
15. Fabbri, K. (2013). Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. *Building and Environment*, 68: 202–214.
16. Wang, Z., de Dear, R., Luo, M., Lin, B., He, Y., Ghahramani, A., Zhu, Y. (2018). Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*, 138: 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.040>.
17. DSTU EN 12831-1:2017 Енергоэффективность зданий. Метод расчета проектного теплового навантажения [Energy efficiency of buildings. Method for calculating the design heat load] [in Ukrainian].
- P. 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.017>.
8. Revel G. M., Arnesano M. Measuring overall thermal comfort to balance energy use in sports facilities. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 2014. # 55. P. 382–393. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.05.027>.
9. Fanger P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British J. Industrial Med.* 1973. # 30 (4). P. 313–324. <https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313>.
10. ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. ISO Stand., 1998.
11. ISO 9920 Ergonomics of the thermal environment – estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Int. Stand. Organ., 2006.
12. BS EN ISO 89962004 Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate. 2004.
13. Luo M., Wang Z., Ke K., Cao B., Zhai Y., Zhou X. Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge. *Build. Environ.* 2018. # 131. P. 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.005>.
14. Calvaresi A., Arnesano M., Pietroni F., G. Revel M. Measuring metabolic rate to improve comfort management in buildings. *Environ. Eng. Manag. J.* 2018. # 17 (10). P. 2287–2296. <https://doi.org/10.30638/eemj.2018.227>.
15. Fabbri K. Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. *Building and Environment*. 2013. № 68. P. 202–214.
16. Wang Z., de Dear R., Luo M., Lin B., He Y., Ghahramani A., Zhu Y. Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*. 2018. # 138. P. 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.040>.
17. ДСТУ EN 12831-1:2017 Енергоэффективность зданий. Метод расчета проектного теплового навантажения.

BILOUS INNA

Candidate of Technical Sciences, Docent
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6640-103X>
Scopus Author ID: 57194104035
ResearcherID: J-7070-2017
E-mail: bilouys_inna@ukr.net

DESHKO VALERII

Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8218-3933>
Scopus Author ID: 6506189670
ResearcherID: J-6517-2017
E-mail: te@kpi.ua

BUYAK NADIA

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0597-6945>
Scopus Author ID: 57192821169
ResearcherID: S-2915-2019
E-mail: korovaj.te@gmail.com

SAPUNOV ANATOLII

Postgraduate
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6507-7979>
E-mail: anatolii.sap96@gmail.com

^{1,2}**DESHKO V. I.**, ^{1,3}**BILOUS I. Y.**, ¹**BUIAK N. A.**, ¹**SAPUNOV A. O.**

¹Educational and Research Institute of Thermal and Nuclear Energy, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

²Institute of Technical Thermophysicists of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

³Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

INCREASING THE LEVEL OF ENERGY CONSUMPTION EFFICIENCY IN KINDERGARTEN AND ITS IMPACT ON THE LEVEL OF THERMAL COMFORT

Introduction. People spend about 90% of their time indoors, so a comfortable indoor thermal environment is essential for high levels of productivity and well-being. Assessment of indoor thermal comfort is a key point in the design and operation of heating and ventilation systems, as well as in improving the energy efficiency of buildings.

Purpose. To improve the energy efficiency of buildings and assess the change in thermal comfort for highly sensitive groups of the population on the example of kindergarten visitors with improved thermal protection.

Methodology. The research is carried out using computer modeling in the DesignBuilder software.

Findings. Using computer modeling, we determined the energy demand, additional heat gain and heat loss of a building with different levels of thermal protection and different modes of heating and ventilation. The impact of increasing the level of energy efficiency on thermal comfort was investigated.

Originality. To study the impact of increasing the level of energy efficiency of a building on the level of thermal comfort using computer modeling.

Practical value. Using computer modeling, a 3D model was built and the energy consumption of the building was determined before and after increasing the level of energy efficiency, as well as the impact of building modernization on the level of thermal comfort.

Keywords: energy saving; comfort conditions; computer modeling; preschool educational institution.

УДК 534.6

КОЗАК А. В., КОРЖИК О. В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ШУМОПЕЛЕНГУВАННЯ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕКТОРНО-ФАЗОВИХ МЕТОДІВ ТА НАДНАПРАВЛЕНOSTІ

Мета. Підвищення дальності виявлення систем шумопеленгування за рахунок надання акустичній антені властивостей щодо забезпечення реєстрації як скалярних, так і векторних характеристик акустичного поля.

Методика. Застосування векторно-фазових методів, які забезпечують формування характеристики направленості в області нижніх частот.

Результати. Визначено, що застосування векторно-фазових приймачів призводить до формування характеристики направленості дискретних інтерференційних антен в області нижніх частот та дає можливість отримати однонаправлену антену без зміни конструкції. При цьому визначено, що основними характеристиками акустичного поля, що формує антена, є: тиск, та коливальна швидкість. Визначено теоретичні засади побудови систем шумопеленгування. Розроблено мультикомпонентну векторну акустичну антену пристроїв виявлення та пеленгування.

Наукова новизна. Встановлено можливість удосконалення систем повітряного та гідроакустичного шумопеленгування за рахунок використання ефектів наднаправленості та векторно-фазових методів. Запропоновано мультикомпонентну векторну акустичну антену пристроїв виявлення та пеленгування. Визначено, що впровадження векторно-фазових методів призводить до того, що антена зберігає або покращує відношення сигнал/шум у задачах прийому акустичних сигналів у повітрі. Таким чином забезпечується поєднання дискретних інтерференційних антен, які реєструють не тільки поле тиску, але й поле коливальної швидкості.

Практична значимість. Запропоновані теоретичні положення можуть бути використанні для розробки шумопеленгаторних акустичних комплексів як повітряного, так і гідроакустичного призначення. Запропонована мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування, що реалізує повний комплекс заходів щодо виявлення та визначення кутових координат цілі та може застосовуватись у шумопеленгаторних акустичних комплексах.

Ключові слова: акустичне поле; векторно-фазові методи; наднаправленість; акустична антена; БПЛА; пеленгування; акустичні шуми.

Вступ. В реаліях сьогоdnішнього дня проблема повітряного шумопеленгування обумовлена масовим використанням і швидкими темпами розвитку парку безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Це змінює систему охорони і безпеки будь-якого об'єкта, у зв'язку з чим і зростає потреба у розробці та удосконаленні систем акустичного шумопеленгування БПЛА.

Аналіз стану існуючих рішень щодо акустичних засобів шумопеленгування. На даний час, існують різні системи шумопеленгування, серед них відома позиційна шумопеленгаторна станція [1], що має у складі гідроакустичний модуль, який містить комбінований акустичний приймач у вигляді поєднання приймача тиску p та приймачів складової v_x і складової v_y коливальної швидкості. Недоліком є те, що за відсутності приймача складової v_z коливальної швидкості виявляється неможливим точне вимірювання інтенсивності акустичного поля, створеного ціллю, що призводить до значної похибки її виявлення.

Також є трьох координатний крос-дипольний акустичний масив [2], що містить три лінійні дискретні акустичні антени, які складаються з приймачів тиску, розміщені взаємно ортогонально, мають однакові розміри баз і спільний фазовий центр, у якому встановлено

приймач тиску. До недоліків акустичного масиву відноситься обмеження у використанні лише одного способу пеленгування, що знижує функціональність пристрою та потребує введення у склад акустичних комплексів, де він використовується, додаткового пристрою для визначення присутності цілі.

Сучасна тенденція технічної акустики щодо поширення робочих частотних діапазонів на область нижніх частот та розробки нових підходів та методів обробки гідроакустичної інформації в першу чергу поширюється на методики виявлення повітряних або підводних автономних апаратів. Основними характеристиками таких об'єктів є: тиск p , градієнт тиску $grad p$, коливальна швидкість v і інтенсивність звуку J , визначення яких велось традиційними інтерференційними методами. Проте, сьогодні виникає необхідність появи пристроїв перетворення звукової енергії з високими показниками коефіцієнтів концентрації та одночасно високих – направлених якостей. Відповідають таким вимогам в достатній степені – так звані датчики векторно-фазової природи.

Відповідно до робіт [3, 4], векторно-фазові методи вважають такими, що дозволяють розв'язання рівнянь акустики з метою відновлення акустичного поля в точці робочого простору по результатах одночасної реєстрації в ній скалярних (тиску p) і векторних (коливальної швидкості v) з врахуванням фазових співвідношень між ними.

При цьому, перехід від традиційних методів реєстрації тиску до векторної структури може відбуватися в наступних випадках:

- присутні деякі обмеження розмірів робочої області простору або габаритів пристрою;
- значна невідповідність відновлення акустичного поля за результатами реєстрації лише значення звукового тиску в точці;
- не виконується умова про наявність вихорових складових повного поля інтенсивності.

При цьому в сучасній гідроакустиці коливальні системи перетворювачів в основному виконуються з п'єзокераміки та представлені пластинами (дисками) [5], циліндрами [6, 7] та сферами [8]. Зауважимо також, що в деяких приймачах, орієнтованих на інфразвуковий та низькочастотний звуковий діапазон (5–150) Гц.

Прийнято вважати [9], що можлива багатоканальність одиночних комбінованих приймальних векторних пристроїв має недолік, пов'язаний із взаємодією модових складових окремих приймачів. Подібний ефект, безумовно, небажаний, а його прояв у вигляді не ідентичності амплітудно- та фазо-частотних залежностей каналів пеленгування обумовлений як пов'язаністю форм коливань перетворювачів приймача, так і особливостями побудови типових приймальних трактів. У розглянутих джерелах за векторно-фазовими методами не виявлено моделей робочих режимів та алгоритмів, що дозволяють описати ступінь можливого впливу каналів з допомогою пов'язаності коливань. Сучасне застосування методів наднаправленості в акустиці представлено в роботах [10–12].

Таким чином, доцільно розглянути типові ситуації можливості одночасного поліпшення просторово енергетичних характеристик перетворювачів із використанням положень векторних і скалярних методів.

Постановка завдання. Удосконалення систем шумопеленгування пов'язано з підвищенням дальності виявлення за рахунок надання акустичній антені властивостей щодо забезпечення реєстрації як скалярних, так і векторних характеристик акустичного поля. Сьогодні виникає необхідність появи пристроїв перетворення звукової енергії з високими показниками коефіцієнтів концентрації та одночасно високих направлених якостей. Відповідають таким вимогам – так звані датчики векторно-фазової природи. При цьому концепція векторно-фазових методів спирається на необхідність одночасної реєстрації

звукового тиску та хоча б ще однієї векторної характеристики акустичного поля. Тому використанням векторно-фазових методів може забезпечувати вирішення задач пеленгування.

Мета: підвищення дальності виявлення систем шумопеленгування за рахунок надання акустичній антені властивостей щодо забезпечення реєстрації як скалярних, так і векторних характеристик акустичного поля.

Отже, **завданнями** статті є:

- визначити, що застосування векторно-фазових приймачів призводить до формування характеристики направленості дискретних інтерференційних антен в області нижніх частот та дає можливість отримати однонаправлену антену без зміни конструкції;

- визначити теоретичні засади побудови систем шумопеленгування;

- створити структурну схему трактів виявлення, пеленгування, та вимірювання енергетичних характеристик акустичного поля.

- розробити мультикомпонентну векторну акустичну антену пристроїв виявлення та пеленгування.

- впровадити, в подальшому, методології створення просторової вибіркової дискретних антен в практику розробки і моделювання акустичних каналів пристроїв повітряного шумопеленгування.

Основні результати досліджень.

Векторно-фазові методи. Використовуючи положення роботи [3] відзначимо, що відновлення поля з використанням векторно-фазових методів забезпечує також вирішення задач пеленгування. При цьому концепція векторно-фазових методів спирається на необхідність одночасної реєстрації звукового тиску та хоча б ще однієї векторної характеристики акустичного поля. Визначення векторної характеристики може відбуватися шляхом вимірювання звукового тиску у взаємно рознесених точках. Визначення коливальної швидкості при цьому може відбуватися відповідно до співвідношення: $v = \frac{i}{\omega \rho} \nabla p$, де v –

компонента коливальної швидкості; ω – кругова частота; $\nabla p = \frac{p_1 - p_2}{d} = \text{grad}(p)$ – градієнт тиску, а p_1, p_2 – значення амплітуд тисків, що виміряні в точках простору, рознесених на відстань d .

Таким чином, зазначений вище напрямок передбачає створення перетворюючих пристроїв або їх систем, що реагують на зміну скалярного та векторних параметрів акустичного поля: акустичного тиску $p(r, t)$, градієнту тиску $\text{grad } p(r, t)$, коливальної швидкості $v(r, t)$, прискорення $a(r, t)$, зміщення $\xi(r, t)$ (r – радіус вектор; t – час), а також на зміну комбінації вказаних параметрів (комбіновані приймачі) [16].

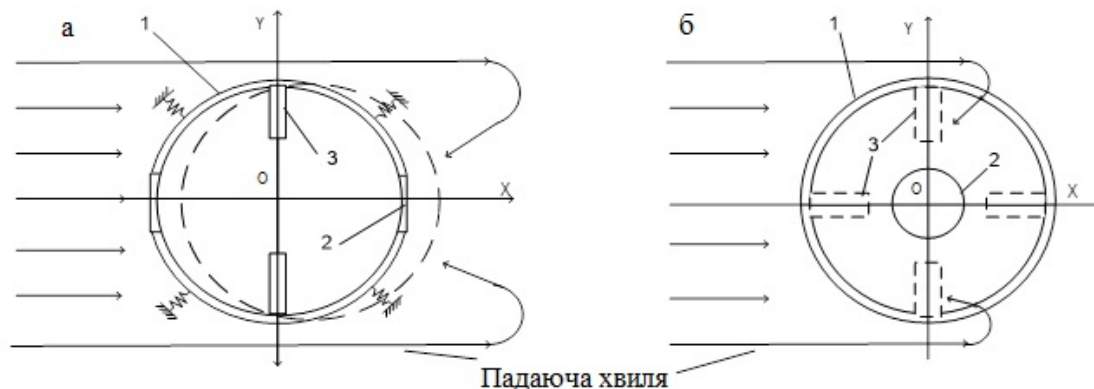
В основу ідеології реєстрації векторних характеристик акустичного поля у робочому середовищі покладено вимогу про повторюваність механічною системою реєструючого перетворюючого пристрою коливальних рухів часток середовища. Досягається це:

- Створенням датчиків певної фізичної природи, які переважно реагують на певний параметр акустичного поля [17].

- Створенням умов руху приймача як єдиного цілого з частинками середовища (приймачі інерційного типу, рис. 1а).

- Створенням умов співколивань частинок середовища та елементів приймача (приймачі силового типу, рис. 1б). При цьому розглянута сила зумовлює коливання елементів і викликається дифракцією звукової хвилі на приймачі. Розмір зазначеної сили залежить від характеру фронту акустичної хвилі та хвильових розмірів приймача, а діапазон зміни сили під

час роботи в полі сферичної хвилі складає [8] до 0–20 дБ та 0–15 дБ при роботі в полі циліндричної хвилі.



Примітки: 1 – корпус приймача; 2 – перетворювач скалярної характеристики поля; 3 – перетворювач векторної характеристики поля.

Рис. 1. Загальні конструктивні схеми виконання комбінованих приймачів:
(а) – інерційного типу, (б) – силового типу

У цьому випадку електричні сигнали на виході перетворювача пропорційні зміні градієнта тиску $\text{grad } p(r, t)$ і в ідеальній ситуації (за умови падіння на приймач лише плоскої хвилі) зсунуті по фазі 90° по відношенню до сигналів з виходу перетворення перетворювача тиску $p(r, t)$. Перетворення акустичної енергії при цьому відповідно до роботи [9], відбувається в два етапи:

- Акусто-механічне перетворення – перетворення характеристик акустичного поля в рух механічної коливальної системи перетворювача.
- Механо-електричне перетворення-перетворення енергії механічної коливальної системи в електричну.

Реєстрація векторної характеристики, може виконана як на першому, так і на другому етапі. Це забезпечується або створенням механічної системи перетворювача, що реагує на певну характеристику акустичного поля, або шляхом виконання адитивних операцій з виходу приймача на етапі механо-електричного перетворення.

Таким чином, основними принципами побудови комбінованих приймачів, які забезпечують принаймні часткове вирішення проблеми просторової вибірковості є:

- малогабаритність, багатоканальність приймача (три координати) та автономність каналів;
- наявність опорного ненаправленого каналу, тобто каналу вимірювання звукового тиску $p(r, t)$ та єдиного фазового центру для всіх каналів;
- мінімізація амплітудно-фазових відмінностей та взаємовпливу каналів перетворювача один на одного;
- облік багатомодовості перетворюючих приймальних коливальних систем.

Зауважимо, що формування характеристики направленості акустичної інтерференційної антени на основі таких приймачів вимагає вибору фазового центру з урахуванням загальних підходів до синтезу акустичних антен [4, 18]. При цьому відновлення поля в дальній області відбувається найбільш повно при побудові своєрідної дискретної системи, в якій приймачі розміщують на відстані інтервалу Нейквіста один від одного, а вибір відстані між приймачами набагато меншим λ , дозволяє заповнити втрати інформації, обумовлені використанням лише даних про скалярні характеристики поля [3]. При цьому, як

відомо [4], розміщення елементів системи з інтервалом Нейквіста дозволяє уникнути помилковості пеленга за рахунок виключення одиничних максимумів у класичній звукопрозорій прямолінійній дискретній антені.

Просторова вибірковість комбінованих приймачів забезпечується вимогами щодо хвильових співвідношень, заданих у вигляді нерівності: $D/\lambda \leq 0,3-0,4$, де D – максимальний габарит приймача; λ – довжина хвилі в середовищі. Збудження приймача відбувається за рахунок всебічного динамічного обтискання (нульова форма), і з допомогою виникнення середнього градієнта тиску на габариті перетворювача, відповідному його діаметру (перша форма). При цьому можливі типи електродування та способи комутації електродів перетворювачів повинні забезпечити максимізацію електричних сигналів відповідної форми коливань електричних виходах приймача. В даний час використовується комбінація ненаправленої характеристики виду $R(\varphi) = 1$ та направлених виду $R(\varphi) = \cos(\varphi)$, $R(\varphi) = \sin(\varphi)$ (рис. 2), для яких сигнал пропорційний $1 + \cos(\varphi)$. Якщо приймач багатоканальний, а перетворювачі виконані у вигляді єдиної коливальної системи силового типу (рис. 1б), то для забезпечення одночасного формування всіх просторових каналів необхідно використовувати розв'язані по входу електричних приймальних трактів.

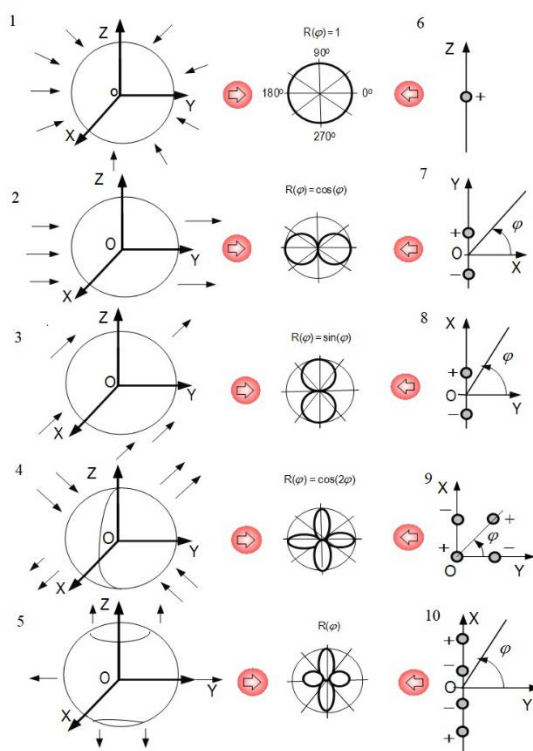


Рис. 2. Спрощені просторові характеристики приймачів, реалізованих за схемою силового типу (1–5) та на основі асинфазних монополів (6–10)

Наднаправленість в задачах акустики. Як зазначалося вище, проблема забезпечення просторової вибірковості антенних систем під час роботи у широких частотних діапазонах пов'язується із підвищенням ефективності малогабаритних антен. Нині можливості такого підвищення дуже обмежені. Пряме відношення до вирішення зазначеної проблеми має так звана «наднаправленість».

Термінологічно поняття «наднаправленість» запозичене акустиками з теорії синтезу радіоантен [17], а залучення ідеології класичної наднаправленості до завдань акустики

ставиться до 50–60-х років минулого століття, наприклад, роботі Р. Причарда [20]. Зауважимо, що широкого застосування в акустиці методологія класичної наднаправленості так і не отримала [19]. Пов'язано це з тим, що наднаправленості притаманні такі численні недоліки, що сам термін пов'язувався з неможливістю створення акустичних антен з такими властивостями. Однак, як зазначалося в роботі [20], суттєві складнощі виникають лише для антен, що володіють високим ступенем наднаправленості. Невисока ж ступінь наднаправленості (так звана «помірна наднаправленість») виявляється цілком технічно реалізованою.

Відомо [18], що серед задач синтезу акустичних антенних систем найбільший інтерес становлять:

- завдання синтезу антен із характеристиками направленості заданої форми;
- завдання керування зміненням параметрів отриманої характеристики направленості;
- завдання максимізації коефіцієнта концентрації при малих заданих розмірах антенного пристрою.

При вирішенні зазначених завдань може бути використаний термін «наднаправлені антени» – стосовно антени, що мають здатність мати більш високі направлені якості в порівнянні зі звичайними антенами (синфазними з рівномірним амплітудним розподілом чутливості) в умовах зниження частоти при незмінності габаритів та робочих частот. Надбання звичайними антенами наднаправлених якостей у частині: збільшення коефіцієнта концентрації, загострення головного максимуму, зниження рівня бічних пелюсток, виключення одиничних пелюсток і зменшення ореолу характеристики направленості може бути досягнуто шляхом введення амплітудно-фазових розподілів чутливості елементів, зміни інтервалу між перетворювачами та оптимізації напрямку огляду. Зазначимо, що важлива можливість концентрації енергії в скільки завгодно малому тілесному куті навіть під час роботи точкового джерела було відзначено ще 1922 року Озеном [22].

Відомо [23], що характеристика направленості умовно може бути представлена щодо потужності $P(\theta)$, створюваної антеною системою з N елементів в деякому напрямку θ у

вигляді:
$$p(\theta) = \sum_{m=-(N-1)}^{m=(N-1)} (N-1)p_m \delta(\theta - \theta_m), \text{ де } \delta(\theta - \theta_m) = 0, \theta \neq \theta_m.$$
 Такий запис формалізує

уявлення про мінімізацію бічного поля антени та може бути віднесена до умов синтезу оптимальних антен.

Безперервне і монотонне збільшення значення коефіцієнта концентрації може бути досягнуто шляхом виключення одиничних максимумів [4], що забезпечується вибором відстані між елементами антени, меншим ніж інтервал Нейквіста $d = \lambda / 2$. При цьому вважають, що антена, яка реалізує найбільший коефіцієнт концентрації, є в цьому сенсі оптимальною і має наднаправленість.

Ілюстрацією оптимізації характеристик направленості в гідроакустиці слід вважати широке застосування Дольф-Чебишевських антен [4], в яких мінімізується розкриття головного максимуму при заданому однаковому рівні бічних максимумів характеристики направленості. Можлива також зворотна ситуація мінімізації рівня бічних максимумів за заданої ширини головного. Решітки Дольфа в цьому сенсі дуже чутливі до незначних неточностей розподілу чутливості [18]. Зауважимо також, що критерій оптимальності, введений Дольфом [24], не єдиний. Так, наприклад, може бути використаний критерій В.Г. Ямпольського [25], пов'язаний з мінімізацією розкриття головного максимуму при фіксованому середньому або середньоквадратичному рівні бічних пелюсток.

Таким чином, наднаправленість пов'язується з точністю реалізації коефіцієнтів амплітудно-фазових розподілів чутливості перетворювачів (елементів) антенної системи, як

для режиму прийому, так і для режиму випромінювання. При цьому причини, з яких технічна реалізація подібних антен ускладнена, наступні:

- Антена чутлива до невідповідності розрахункових і реально введених амплітудно-фазових розподілів, що може призводити до практично повної втрати направленості [26];
- Зростання рівня шумів на виході антени у порівнянні з одиночним перетворювачем [26, 27].
- Зниження значення ККД антени порівняно з ККД одиночного перетворювача [28].
- Зростання добротності та відповідно звуження смуги пропускання антени.
- Значний вплив взаємодії елементів антени акустичного поля на результуючу характеристику направленості.

Реалізація помірної наднаправленості в акустиці може проводитись різними способами. Насамперед це пов'язується із необхідністю виконання адитивних операцій в електричних трактах приймальних (випромінюючих) антен. Так, відповідно до робіт [18, 26, 28], для режиму випромінювання в умовах детермінованості сигналів вираз для звукового поля може бути наведений у вигляді:

$$p(u) = \sum_{q=1}^N p_q(u) = \sum_{q=1}^N A_q p_q(u) = \sum_{q=1}^N \alpha_q \frac{1}{r_q} e^{i(r_q - \alpha_q)},$$

де $p_q(u)$ тиск, що розвинуто q -м елементом решітки;

$n = 1; 2; \dots; q; \dots; N$ – число елементів решітки;

r_q, r – відстані від фазових центрів елементів решітки до точки спостереження;

$|A_q|$ – номінальний коефіцієнт амплітудного збудження елементів антени;

α_q – номінальний коефіцієнт фазового збудження.

Зважимо, що внесення амплітудно-фазового розподілу збудження елементів антени забезпечується автономна для кожного із q каналів пристроями амплітудно-фазового розподілу. Також слід зазначити, що зі зростанням ступеня наднаправленості зменшується коефіцієнт корисної дії. Тому ефективність випромінюючих наднаправлених антен невелика.

Крім того, положення про звукопрозорість антенних решіток і модельні уявлення акустичних полів при прийомі звуку [4, 18] використовують припущення про малість (і навіть про відсутність) взаємодії елементів антен по акустичному полю. Такі припущення можуть призводити до значної невідповідності між розрахунковими та експериментальними даними. Така розбіжність тим істотніша, чим ближче досліджувана частотна область до резонансної області перетворювачів системи. Таким чином, випромінюючі антени ще більш ніж приймальні критичні до ситуації взаємодії елементів між собою. У зв'язку з необхідністю використання широких частотних діапазонів роботи наднаправлених антен питання акустичної взаємодії в частині вивчення взаємних опорів випромінювання перетворювачів, або взаємовпливу по полю тиску повинні бути забезпечені сучасними модельними постановками. Не варто нехтувати й загальними спрощеними ситуаціями та рекомендаціями. Зважаючи на те, що при побудові приймальних решіток часто прагнуть до частотної області, що лежить набагато нижче резонансної. Повний власний опір приймачів для таких ситуацій стає досить великим у порівнянні з взаємним опором випромінювання, який можна не враховувати навіть тоді, коли антена є наднаправленою.

При роботі перетворювачів на резонансі зміна характеристики направленості за рахунок співставлення повних опорів перетворювачів і взаємних опорів випромінювання – може бути значним. Таким чином, проєктування випромінюючих систем вимагає

поглибленого вивчення процесів формування акустичних полів в режимах випромінювання та прийому для правильної оцінки та обліку характеру взаємодії елементів решітки по акустичному полю. Зауважимо (робота [20]), що ефективність малогабаритних наднаправлених антен в режимі випромінювання мала навіть частоті резонансу.

Додамо, що збільшення наднаправлених якостей дискретних антен призводить до звуження частотного діапазону, в якому ці якості виявляються. Проте, ще М.І. Карновським у 1940 р. у роботі [29] зазначено, що зі створенням частотно незалежних амплітудно-фазових розподілів можна розширити частотний діапазон наднаправленої антени.

Таким чином, подвійність ситуації у вигляді спірного виграшу в направлених якостях, широкосмуговості та очікуваного програшу в енергетичних характеристиках, – змушує шукати компроміс у частині отримання "помірної наднаправленості" та максимізації коефіцієнта концентрації в заданих умовах.

Мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування. Впровадження векторно-фазових методів в акустику дає можливість використовувати спрямовані властивості антени. Таким чином забезпечується поєднання дискретних інтерференційних антен, які реєструють не тільки поле тиску, але й поле коливальної швидкості (pv). Це дозволяє визначати зміни інтенсивності звукового поля при роботі в складі детектора потужності [14, 15].

Методика розрахунку дальності виявлення, процедура приведення оточуючих шумів до входу акустичної антени і сам розрахунок дальності представленні авторами в роботі [30]. В даній роботі у якості прийомної системи обрана група приймачів, що реалізує pv -зонд і виконана у вигляді лінійної дискретної акустичної антени, векторно-фазові властивості якої дозволяють визначити дальність дії антени. В результаті розрахунку дальності виявлення для БПЛА типу крило з урахуванням шуму навколишнього середовища і розглянутої антени на основі pv -зондов, було визначено, що дальність в 1000 м є досяжною.

На основі визначених вище теоретичних засадах та розрахунку дальності виявлення було створено структурну схему пристрою виявлення та шумопеленгування і як результат розроблено патент на корисну модель акустичної антени [13].

Реалізація просторових якостей такої антени визначається шляхом використання адитивних методів обробки інформації. Антена може працювати як пристрій, що забезпечує реєстрацію як скалярних, так і векторних характеристик.

Дана мультикомпонентна антена містить три лінійні дискретні акустичні антени, які складаються з приймачів тиску, розміщені взаємно ортогонально, мають однакові розміри баз і спільний фазовий центр, у якому встановлено приймач тиску (рис. 3).

Перевагою і удосконаленням є те, що у одну з лінійних дискретних акустичних антен зі збільшеною базою додатково встановлено ще два приймачі тиску симетрично відносно фазового центру. Додатково встановлені приймачі тиску збільшують кількість способів виявлення та пеленгування, які можуть бути реалізовані за допомогою пристрою, що забезпечує покращення його функціональних характеристик у складі шумопеленгаторних акустичних комплексів і підвищує точність виявлення та пеленгування цілей. Слід зауважити, що ця антена в силу використання додаткових приймачів може бути віднесеною як до області повітряної, так і до області гідроакустики.

Мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування складається з приймачів тиску 0, x_1 – x_2 , y_1 – y_4 , z_1 – z_2 (рис. 3), тракту формування характеристик спрямованості (ТФХС) 1 у складі суматора 2, віднімача 3 дипольного каналу X , віднімача 4 дипольного каналу Y , віднімача 5 дипольного каналу Z , блоку прослуховування (БП) 6 у складі тракту прослуховування ненаправленого (ТПНН) 7, тракту прослуховування направленого (ТПН) 8, блоку виявлення (БВ) 9 у складі тракту виявлення за спектром (ТВС)

10, тракту виявлення за інтенсивністю (ТВІ) 11, тракту виявлення за взаємним спектром (ТВВС) 12 та блоку пеленгування (БП) 13 у складі тракту кореляційного пеленгування (ТКП) 14, тракту фазового пеленгування (ТФП) 15, тракту пеленгування способом рівносигнальних зон (ТПРЗ) 16 (рис. 4).

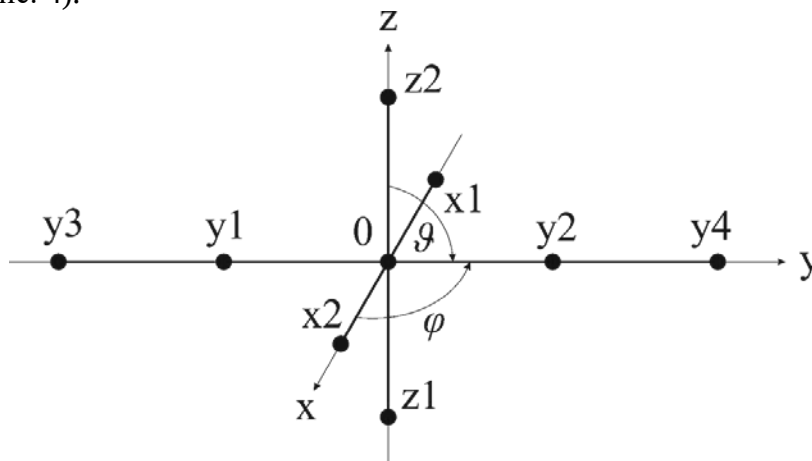


Рис. 3. Мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування

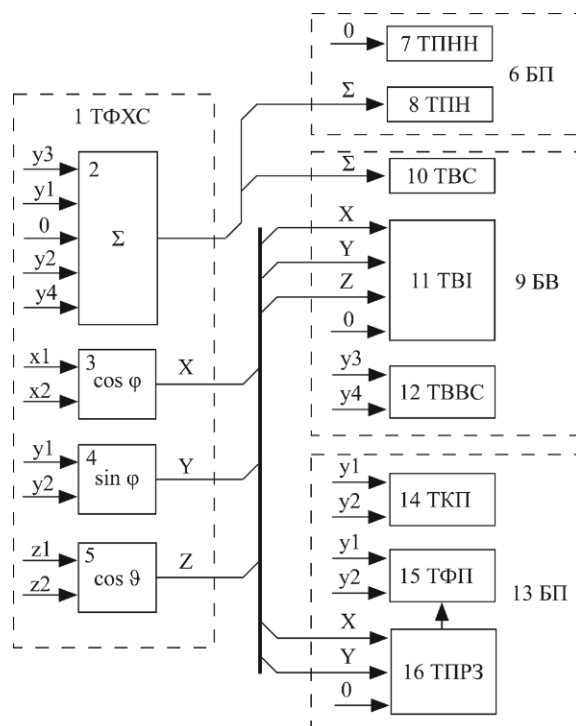


Рис. 4. Структурна схема мультикомпонентної векторної акустичної антени пристроїв виявлення та пеленгування

Пристрій працює наступним чином: при надходженні акустичної хвилі, що створена ціллю, до мультикомпонентної векторної акустичної антени пристроїв виявлення та пеленгування приймачами тиску 0, x_1 – x_2 , y_1 – y_4 , z_1 – z_2 реєструються певні величини тиску. Електричний сигнал, що генерується приймачем тиску 0, використовується у ТПНН 7 для ненаправленого прослуховування місцевості оператором, а електричний сигнал, сформований суматором 2, використовується у ТПН 8 для направленої прослуховування місцевості оператором.

Одночасно електричний сигнал із суматора 2 надходить до ТВС 10, у якому реалізується спектральна обробка просторово відфільтрованого акустичного поля цілі та за допомогою порогового пристрою визначається наявність або відсутність цілі. Після надходження акустичних хвиль до пар приймачів тиску x_1 – x_2 , y_1 – y_2 , z_1 – z_2 , сформовані віднімачами 3–5 електричні сигнали з каналів дипольного прийому X , Y , Z та електричний сигнал з приймача тиску 0 надходять до ТВІ 11, у якому здійснюється обчислення інтенсивності акустичного поля у різних частотних діапазонах та визначається за допомогою порогового пристрою наявність чи відсутність цілі. Одночасно електричні сигнали з приймачів тиску u_3 – u_4 надходять до ТВВС 12, де проводиться обчислення взаємного спектру та по обраному критерію виявлення визначається наявність чи відсутність цілі. При цьому результати вимірювань усіх трьох трактів аналізуються оператором, який приймає остаточне рішення.

Згенеровані приймачами тиску y_1 – y_2 електричні сигнали надходять до ТКП 14, у якому здійснюється їх кореляційна обробка та обчислюється пеленг на ціль. Одночасно електричні сигнали з приймачів тиску y_1 – y_2 надходять до ТФП 15, у якому реалізовано фазовий спосіб пеленгування, що має недолік, викликаний неоднозначністю визначення квадранту знаходження цілі при певних хвильових співвідношеннях між спектральними складовими акустичного поля цілі та розміром бази лінійної дискретної акустичної антени, що реалізована приймачами тиску y_1 – y_2 . Цей недолік усувається у ТПРЗ 16, на який надходять електричні сигнали з приймача тиску 0 та з каналів дипольного прийому X , Y . У ТПРЗ 16 реалізовано спосіб рівносигнальних зон, за допомогою якого визначається квадрант знаходження цілі, а також кут пеленгу. Результати вимірювань пеленгу на ціль цими способами аналізуються оператором, який приймає остаточне рішення.

Таким чином, запропонована мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування реалізує повний комплекс заходів щодо виявлення та визначення кутових координат цілі та може застосовуватись у шумопеленгаторних акустичних комплексах.

Авторами в роботі [31] представлені розрахунки дальності та експериментальні дослідження з виявлення БПЛА типу квадрокоптер з використання спрощеного прототипу корисної моделі – акустична антена, що складалась з декількох акустичних перетворювачів.

В подальшому, мають проводитись експериментальні дослідження вже з використанням макету пристрою на основі даного патенту і результатів розрахунку дальності виявлення. Методологія вимірювання просторових характеристик, що до постановки експерименту в частині отримання характеристики направленості (ХН) мають відповідати стандартним методам вимірювання ХН в межах робочого діапазону акустичної антени. При цьому для лабораторних умов вимірювання мають проводитись в ситуації коли оточуючі шуми нижчі 15 дБ. Обробка результатів вимірювання має визначатись в довірчому інтервалу з імовірністю 0,95.

Висновки. Визначено, що застосування векторно-фазових приймачів призводить до формування характеристики направленості дискретних інтерференційних антен в області нижніх частот та дає можливість отримати однонаправлену антену без зміни конструкції. При цьому визначено, що основними характеристиками акустичного поля, що формує антена, є: тиск, та коливальна швидкість. Визначено теоретичні засади побудови систем шумопеленгування. Створено структурну схему трактів виявлення, пеленгування, та вимірювання енергетичних характеристик акустичного поля. Розроблено мультикомпонентну векторну акустичну антену пристроїв виявлення та пеленгування. Розроблена антена може працювати як пристрій, що забезпечує реєстрацію як скалярних, так і векторних характеристик. На основі вказаної антени показано застосування адитивних операцій, що до

можливості формування характеристик направленості різних типів. Слід зауважити, що ця антена в силу використання додаткових приймачів може бути віднесеною як до області повітряної, так і до області гідроакустики. В подальшому напрямки дослідження і розробки систем виявлення БПЛА має бути спрямоване на удосконалення трактів виявлення та вимірювання основних характеристик акустичного поля в умовах лабораторних та натурних експериментів.

References

Література

1. Pavlyuk, O. E., Lypovetska, G. D., Karpenko, E. V., Solovei, V. Yu., Kotsyuba, V. S., Smidovych, O. V., Zatserkovskyi, R. O., Nyzhnyk, O. I., Gurin, O. S., Melenko, Yu. Ya., Bilous, V. V. (2016). Utility model patent No. 105308, 01.03.2016. Ukraine. Positional noise direction finding station [in Ukrainian].
2. Lucas, C., Heard, G., Flemming, R., Pelavas, N. (2013). A robust phase gradient bearing estimation algorithm for a tri-axis cross-dipole acoustic array, with application to a long range autonomous underwater vehicle homing and tracking system. *Acoustical Society of America*, № 14.
3. Didkovskiy, V. S., Leiko, O. H., Kandrachuk, I. V. (2009). Osoblyvosti formuvannya poliv kryvoliniinymy akustychnymy antenamy, utvorenymy z kruhovykh tsylindrychnykh piezokeramichnykh prymachiv zvuku [Peculiarities of forming floor curvilinear acoustic antennas formed from circular cylindrical piezoceramic sound]. *Sci. news NTUU "KPI" Sci. Tech. journal*, No. 4 (66), P. 34–42. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36074> [in Ukrainian].
4. Gordienko, V. A. (2007). Vektorno-fazovyye metody v akustike [Vector-phase methods in acoustics]. Moscow: FIZMATLIT, 2007. 480 p. [in Russian].
5. Andebura, V. A., Skrebnev, G. K. (1979). Ob akustiko-mekhanicheskikh kharakteristikakh plastinchatykh preobrazovateley pervogo poriyadka [On the acoustic-mechanical characteristics of first-order plate]. *Akust. Zhurnal*, Vol. 25, No. 3, P. 346–351 [in Russian].
6. Aronov, B. S. (1988). O raschete pyezokeramicheskikh tsilindricheskikh priyemnikov pervogo poriyadka [On the calculation of piezoceramic cylindrical receivers of the first order]. *Akust. Zhurnal*, Vol. 34, No. 5. P. 804–811 [in Russian].
7. Ehrlich, S. L., Frelich, P. D. (1965). Patent US3176262A, 1965-03-30, United States. Directional Sonar System. URL: <https://patents.google.com/patent/US3176262A/en>.
8. Andebura, V. A. (1976). Ob akustiko-mekhanicheskikh kharakteristikakh sferoidalnykh izluchateley i rasseivateley [On the acoustic-mechanical characteristics of spheroidal radiators and diffusers]. *Akust. Zhurnal*, Vol. 22, No. 4, P. 487–486 [in Russian].
1. Павлюк О. Є., Липовецька Г. Д., Карпенко Є. В., Соловей В. Ю., Коцюба В. С., Смідович О. В., Зацерковський Р. О., Нижник О. І., Гурін О. С., Меленко Ю. Я., Білоус В. В. Патент на корисну модель №105308, 01.03.2016. Україна. Позиційна шумопеленгаторна станція.
2. Lucas C., Heard G., Flemming R., Pelavas N. A robust phase gradient bearing estimation algorithm for a tri-axis cross-dipole acoustic array, with application to a long range autonomous underwater vehicle homing and tracking system. *Acoustical Society of America*. 2013. № 14.
3. Дідковський В. С., Лейко О. Г., Кандрачук І. В. Особливості формування полів криволінійними акустичними антенами, утвореними з кругових циліндричних п'єзокерамічних приймачів звуку. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2009. № 4 (66). С. 34–42. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36074>.
4. Гордиенко В. А. Векторно-фазовые методы в акустике. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 480 с.
5. Андебур В. А., Скребнев Г. К. Об акустико-механических характеристиках пластинчатых преобразователей первого порядка. *Акуст. ж.* 1979. Т. 25, № 3. С. 346–351.
6. Аронов Б. С. О расчете пьезокерамических цилиндрических приемников первого порядка. *Акуст. ж.* 1988. Т. 34, № 5. С. 804–811.
7. Ehrlich S. L., Frelich P. D. Directional Sonar System. Patent US3176262A, 1965-03-30, United States. URL: <https://patents.google.com/patent/US3176262A/en>.
8. Андебур В. А. Об акустико-механических характеристиках сфероидальных излучателей и рассеивателей. *Акуст. ж.* 1976. Т. 22, № 4. С. 481–486.

9. Skrebnev, G. K. (1997). Kombinirovannyye gidroakusticheskiye priyemniki [Combined hydroacoustic receivers]. St. Petersburg: ELMOR. 200 p. [in Russian].
10. Bitzer, J., Simmer, K. U. (2001). Superdirective Microphone Arrays. P. 19–38. DOI: 10.1007/978-3-662-04619-7_2.
11. Madhu, N., Masiero, B., Kuno, Y. (2019). A Neural Network Approach to Broadband Beamforming.
12. Mabande, E., Schad, A., Kellermann, W. (2009). Robust superdirectional beamforming for hands-free speech capture in cars.
13. Kostiuk, R., Korzhyk, O., Kozeruk, S., Kozak, A., Larin, P. (2018). Mulytkomponentna vektorna akustychna antena prystroiv vyavleniia ta pelenhuvannia [Multicomponent vector acoustic antenna of direction finding and detection devices]. Application number u201809649, 26.09.2018. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=u201809649&doctype=ou> [in Ukrainian].
14. Korzhyk, O. V., Kozak, A. V., Larin, Ph. M., Kostiuk, R. Yu. (2018). Imitatsiine modeliuvannia vymiriuvacha intensyvnosti zvuku v zadachakh shumopelenhuvannia [Designing of sound intensity measuring simulator for bearing tasks]. *Elektronna ta Akustychna Inzheneriia = Electronic and Acoustic Engineering*, Vol. 1, No. 1, P. 27–33. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33618> [in Ukrainian].
15. Kozak, A. V. (2021). Udoskonalena systema shumopelenhuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ [Improved Unmanned Aerial Vehicle Noise Direction Finding System]. *Elektronna ta Akustychna Inzheneriia = Electronic and Acoustic Engineering*, Vol. 4, No. 1, 228902–1. DOI: 10.20535/2617-0965.eae.228902 [in Ukrainian].
16. Strutt, J. W. (Lord Rayleigh) (1955). Teoriya zvuka: v 2-kh t. [Theory of sound: in 2 vols.]. Moscow: Gostekhizdat. Vol. 2 [in Russian].
17. Leslie, C. B., Kendall, J. M., Jones, J. L. (1956). Hydrophone for Measuring Particle Velocity. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 28, No. 4, P. 711–715. DOI: 10.1121/1.1908455.
18. Smaryshev, M. D., Dobrovolskiy, Yu. Yu. (1984). Spravochnik po raschetu napravlennykh svoystv gidroakusticheskikh anten [Handbook on the calculation of the directional properties of hydroacoustic antennas]. Leningrad: Sudostroenie. 304 p. [in Russian].
19. Balyan, R. Kh., Batanogov, E. V., Bogorodsky, A. V. (1989). Terminologicheskii slovar – spravochnik po gidroakustike [Terminological dictionary – reference book on hydroacoustics]. Leningrad: Sudostroenie. 368 p. [in Russian].
9. Скребнев Г. К. Комбинированные гидроакустические приемники. Санкт-Петербург: ЭЛМОР, 1997. 200 с.
10. Bitzer J., Simmer K. U. Superdirective Microphone Arrays. 2001. P. 19–38. DOI: 10.1007/978-3-662-04619-7_2.
11. Madhu N., Masiero B., Kuno Y. A Neural Network Approach to Broadband Beamforming. 2019.
12. Mabande E., Schad A., Kellermann W. Robust superdirectional beamforming for hands-free speech capture in cars. Jan. 2009.
13. Костюк Р. Ю., Коржик О. В., Козерук С. О., Козак А. В., Ларін П. М. Мультикомпонентна векторна акустична антена пристроїв виявлення та пеленгування. Номер заявки u201809649, 26.09.2018, URL: <https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=u201809649&doctype=ou>.
14. Козак А. В., Ларін П. М., Костюк Р. Ю., Коржик О. В. Імітаційне моделювання вимірювача інтенсивності звуку в задачах шумопеленгування. *Електронна та Акустична Інженерія*. 2018. Т. 1, № 1. С. 27–33. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33618>.
15. Козак А. В. Удосконалена система шумопеленгування безпілотних літальних апаратів. *Електронна та Акустична Інженерія*. 2021. Vol. 4, No. 1. 228902–1. DOI: 10.20535/2617-0965.eae.228902.
16. Стрэтт Дж. В. (Лорд Рэлей). Теория звука: в 2-х т. М.: Гостехиздат, 1955. Т. 2. 475 с.
17. Leslie C. B., Kendall J. M., Jones J. L. Hydrophone for Measuring Particle Velocity. *J. Acoust. Soc. Am.* 1956. Vol. 28, No. 4. P. 711–715. DOI: 10.1121/1.1908455.
18. Смаришев М. Д., Добровольский Ю. Ю. Справочник по расчету направленных свойств гидроакустических антенн. Л.: Судостроение, 1984. 304 с.
19. Бальян Р. Х., Батаногов Э. В., Богородский А. В. и др. Терминологический словарь – справочник по гидроакустике. Л.: Судостроение, 1989. 368 с.

20. Pritchard, R. L. (1954). Maximum Directivity Index of a Linear Point Array. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 26, No. 6, P. 1034–1039. DOI: 10.1121/1.1907444.
21. Tokarev, V. I., Didkovskiy, V. S., Akimenko, V. Ya., Zaporozhets, O. I., Savin, V. G. (2001). *Osnovy akustychnoi ekologii* [Fundamentals of acoustic ecology]. Kirovograd: Imeks Ltd. 520 p. [in Ukrainian].
22. Mayatsky, V. I. (1967). O sinteze sverkhnapravlennykh antenn so spetsialnymi diagrammami napravlennosti [On the synthesis of superdirectional antennas with special radiation patterns]. *Voprosy special'noj gidroakustiki = Issues Spec. hydroacoustics*, No. 4, P. 31–39 [in Russian].
23. Taylor, J. D. (2018). *Ultra-wideband Radar Technology*. 2018.
24. Dolph, C. L. (1946). A Current Distribution for Broadside Arrays Which Optimizes the Relationship between Beam Width and Side-Lobe Level. *Proc. IRE*, Vol. 34, No. 6. P. 335–348. DOI: 10.1109/JRPROC.1946.225956.
25. Yampolsky, V. G. (1965). Lineynyye anteny s nizkim urovnem bokovykh lepestkov [Linear antennas with a low level of side lobes]. *Electrosvyaz = Telecommunications*, No. 4, P. 26–36 [in Russian].
26. Mayatsky, V. I. (1964). O pomekhoustoychivosti diskretnykh sverkhnapravlennykh antenn po otnosheniyu k sobstvennym shumam ikh elementov [On the noise immunity of discrete superdirectional antennas in relation to the intrinsic noise of their elements]. *Voprosy special'noj radioelektroniki XVII. Gidroakustika = Quest. Spec. radio Electron. XVII. Hydroacoustics*, No. 12, P. 33–39 [in Russian].
27. Tucker, D. Y. (1958). Signal/noise performance of super directive arrays. *Acoustic*, Vol. 8, No. 1, P. 48–54.
28. Mayatsky, V. I. (1966). O pomekhoustoychivosti diskretnykh sverkhnapravlennykh antenn po otnosheniyu k sobstvennym shumam ikh elementov [On the issue of maximizing the mechanoacoustic efficiency of a group of point radiators]. *Akust. Zhurnal*, Vol. 12, No. 2, P. 137–142 [in Russian].
29. Karnovsky, M. I. (1940). Napravlennyye svoystva sfericheskikh izluchateley [Directional properties of spherical emitters]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki = Journal of Technical Physics*, Vol. 10, No. 12, P. 13–22 [in Russian].
30. Kabushka, Y. V., Zotko, A. S., Kandrachuk, I. V., Korzhyk, O. V. (2018). Dalnost obnaruzheniya malyykh vozdushnykh ob'ektov nazemnoy sistemoy shumopelengovaniya [Range of Detection of Small Air Objects by the Grounding Noise Receivers System].
20. Pritchard R. L. Maximum Directivity Index of a Linear Point Array. *J. Acoust. Soc. Am.* 1954. Vol. 26, No. 6. P. 1034–1039. DOI: 10.1121/1.1907444.
21. Дідковський В. С., Акіменко В. Я., Запорожець О. І., Савін В. Г., Токарев В. І. Основи акустичної екології: навч. посібн. для студ. вищ. навч. закл. Кіровоград: ПБЦ ТОВ "Імекс ЛТД", 2001. 520 с.
22. Маяцкий В. И. О синтезе сверхнаправленных антенн со специальными диаграммами направленности. *Вопросы специальной гидроакустики*. К., 1967. № 4. С. 31–39.
23. Taylor J. D. *Ultra-wideband Radar Technology*. 2018.
24. Dolph C. L. A Current Distribution for Broadside Arrays Which Optimizes the Relationship between Beam Width and Side-Lobe Level. *Proc. IRE*. 1946. Vol. 34, No. 6. P. 335–348. DOI: 10.1109/JRPROC.1946. 225956.
25. Ямпольский В. Г. Линейные антенны с низким уровнем боковых лепестков. *Электросвязь*. 1965. № 4. С. 26–36.
26. Маяцкий В. И. О помехоустойчивости дискретных сверхнаправленных антенн по отношению к собственным шумам их элементов. *Вопросы специальной радиоэлектроники XVII. Гидроакустика*. 1964. Вып. 12. С. 33–39.
27. Tucker D. Y. Signal/noise performance of super directive arrays. *Acoustic*. 1958. Vol. 8, No. 1. P. 48–54.
28. Маяцкий В. И. К вопросу о максимизации механоакустического КПД группы точечных излучателей. *Акуст. ж.* 1966. Т. XII, № 2. С. 137–142.
29. Карновский М. И. Направленные свойства сферических излучателей. *Журнал технической физики*. 1940. Т. X, № 12. С. 13–22.
30. Кабушка Я. В., Зотько А. С., Кандрачук І. В., Коржик О. В. Дальність виявлення малих повітряних об'єктів наземною системою шумопеленгування. *Мікросист., Електрон. та Акуст.* 2018. Т. 23, Вип. 5. С. 48–56. DOI:

Mikrosist., Elektron. ta Akust. = *Microsystems, Electronics and Acoustics.*, Vol. 23, No. 5, P. 48–56.
DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.5.131483> [in Russian]

31. Korzhyk, O., Kozak, A., Didkovskiy, V., Naida, S. (2020). Construction the Device of Acoustic Noise Air Bearing. 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, P. 683–687, doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088899.

<https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.5.131483>.

31. Korzhyk O., Kozak A., Didkovskiy V., Naida S. Construction the Device of Acoustic Noise Air Bearing. 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine. 2020. P. 683–687. DOI: 10.1109/ELNANO 50318.2020.9088899.

KOZAK ANDRII

Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4756-7931>
Scopus Author ID: 57214137197
E-mail: andreka1996@gmail.com

KORZHYK OLEKSII

Dr.Sc.(Eng.), Professor
Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6793-1676>
E-mail: ov.korzhyk@aae.kpi.ua

KOZAK A. V., KORZHYK O. V.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

**IMPROVEMENT OF UAV NOISE DIRECTION FINDING SYSTEMS
USING VECTOR-PHASE METHODS AND SUPERDIRECTION**

Purpose. Increasing the detection range of noise direction finding systems by providing the acoustic antenna with properties to ensure the registration of both scalar and vector characteristics of the acoustic field.

Methodology. The use of vector-phase methods that ensure the formation of directivity characteristics in the area of lower frequencies.

Findings. It was determined that the use of vector-phase receivers leads to the formation of the directivity characteristics of discrete interference antennas in the region of lower frequencies and makes it possible to obtain a unidirectional antenna without changing the design. At the same time, it was determined that the main characteristics of the acoustic field formed by the antenna are: pressure and oscillating speed. The theoretical foundations of the construction of noise direction finding systems have been defined. A multi-component vector acoustic antenna for detection and direction finding devices has been developed.

Originality. The possibility of improving the systems of air and hydroacoustic noise direction finding due to the use of superdirectionality effects and vector-phase methods has been established. A multi-component vector acoustic antenna for detection and direction finding devices is proposed. It was determined that the implementation of vector-phase methods leads to the fact that the antenna maintains or improves the signal-to-noise ratio in the tasks of receiving acoustic signals in the air. In this way, a combination of discrete interference antennas is provided, which register not only the pressure field, but also the oscillating velocity field.

Practical value. The proposed theoretical propositions can be used for the development of sound direction finding acoustic complexes for both air and hydroacoustic purposes. The proposed multi-component vector acoustic antenna of detection and direction finding devices implements a full set of measures for detecting and determining the angular coordinates of the target and can be used in noise direction finding acoustic complexes.

Keywords: acoustic field; vector-phase methods; superdirectionality; acoustic antenna; UAV; direction finding; acoustic noises.

УДК 004.94;
681.3

ПАНАСЮК О. І., ПЛЕСКАЧ В. Л., МОЛЧАНОВ Б. С.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛУ ОНЛАЙН КОМУНІКАЦІЇ МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ HELSI

Мета. На основі порівняльного аналізу двох популярних СУБД MongoDB та Redis визначити кращу для розширення функціоналу існуючої. Створити новий сервіс для забезпечення комунікації в реальному часі через вебсокет з'єднання для медичної інформаційної системи HELSI. При створенні бази даних врахувати можливість високого навантаження та необхідність додати агрегування даних в наступних ітераціях функціоналу.

Методика. При реалізації функціоналу використовувалась мова C# 10.0, фреймворк ASP.NET Core 6.0, і база даних MongoDB.

Результати. Проведено аналітичне дослідження і порівняння СУБД MongoDB та Redis за характеристиками продуктивності, безпечності, типом системи зберігання даних і видом внутрішньої мови. Запропоновано використання комбінації бібліотеки SignalR Core для платформи .NET 6 разом з СУБД MongoDB для забезпечення управління підключеннями по протоколу Websocket у високонавантаженої медичній інформаційній системі при проведенні онлайн чату між пацієнтом і лікарем. Розроблено новий сервіс для забезпечення комунікації в реальному часі через вебсокет з'єднання для медичної інформаційної системи HELSI.

Наукова новизна. Розроблено теоретичні та методологічні підходи до порівняльної оцінки характеристик сучасних NoSQL СУБД і застосуванні гібридних підходів поєднання технологій, які використовують при розробленні прикладного програмного забезпечення при побудові програмних систем.

Практична значимість. За допомогою мови програмування C# 10.0 та платформи .NET 6 і бази даних MongoDB розширено функціонал існуючої прикладної медичної інформаційної системи HELSI можливістю чату між лікарем і пацієнтом під час онлайн прийомів. Спроектовано базу даних для зберігання інформації пов'язаної з даним функціоналом. Підготовлено супутню документацію для розробки інтерфейсу щодо створеного функціоналу.

Ключові слова: чат; онлайн прийом; клієнт-серверна архітектура; медична інформаційна система; агрегування даних.

Вступ. Однією з найважливіших напрямів діяльності держави є охорона здоров'я є. В сучасному житті в сфера охорони здоров'я активно впроваджуються інформаційні технології.

Інформаційні медичні системи забезпечують високу ефективність обробки і зберігання медичної інформації та ведення документообігу [1–3].

З 2018 року в Україні розпочато реформу системи охорони здоров'я в Україні, створено «Національну службу здоров'я України» (НСЗУ). Вона забезпечує функціонування eHealth – системи охорони здоров'я [3, 4]. Для функціонування державного центрального компоненту eHealth створено медичні інформаційні системи. Серед яких система HELSI є однією з найбільших в Україні [4, 5]. Через систему вже укладено 24 мільйони декларацій між лікарями та пацієнтами. Щодня через Helsi на прийоми до лікарів записуються більше 230 тисяч пацієнтів.

В системі Helsi використовуються наступні програмні рішення [5]:

Reform.helsi.me – система для реєстрації та роботи медичних закладів з мінімально необхідним функціоналом. Не дозволяє працювати з helsi.me.

Helsi.me – система для реєстрації пацієнтів та запису на прийоми. Також дозволяє отримувати ліки, перевіряти рецепти, отримувати страхування та переглядати інформацію щодо сервісу.

Apt.helsi.me – система для роботи аптечних закладів та їх працівників. Дозволяє провізорам перевіряти стан рецептів, погашати їх для роботи з програмою «Доступні ліки».

Helsi.pro – система для роботи медичних закладів та їх працівників з повним функціоналом. Дозволяє проводити прийоми, діагностику, процедури, створювати медичні висновки, перевіряти інформацію щодо минулих прийомів пацієнта, укладати декларації, заповнювати інформацію про заклад для відображення на helsi.me, заповнювати графіки прийому лікарів тощо.

Мобільний додаток Helsi для пацієнтів – дозволяє робити все те ж, що й на веб-платформі, але додає функціонал планування прийому ліків, онлайн-приймів та в майбутньому – швидких онлайн-консультацій.

Аналіз попередніх досліджень. Ринок програмного забезпечення має велику кількість різнобічних по своїм функціональним можливостям комерційних систем управління БД загального призначення, а також засобами їх оточення практично для всіх моделей машин і для різних операційних систем. Сучасні СУБД володіють засобами забезпечення цілісності даних і надійної безпеки, що дає можливість розробникам гарантувати велику безпеку даних при менших затратах сил на низькорівневе програмування.

Redis – це платформа з відкритим вихідним кодом, ліцензована Berkeley Software Distribution (BSD) [6–8]. Він служить рішенням для зберігання структури даних пам'яті та часто використовується як база даних, кеш-пам'ять і брокер повідомлень. Redis може підтримувати структури даних, включаючи такі елементи, як рядки, хеші, відсортовані набори, запити діапазонів, растрові зображення, гіперлоги, геопросторові індекси, списки, набори та потоки. Redis також підтримує готову реплікацію, сценарії Lua, транзакції та різні рівні збереження диска. Він також може забезпечити високу доступність за допомогою Redis Sentinel, а також автоматичне розділення за допомогою Redis Cluster. Користувачі можуть виконувати атомарні операції над типами Redis, такі як додавання до рядка або збільшення значення в хеші, а також обчислення перетину набору та отримання члена з найвищим загальним рангом у відсортованому наборі. Щоб досягти найвищої продуктивності, Redis працює безпосередньо з набором даних пам'яті. Залежно від конкретного випадку використання користувача, його можна зберегти, періодично створюючи дампи набору даних на головний диск, або додаючи кожен окрему команду до нового журналу. У деяких випадках користувачам просто потрібна багатофункціональна мережева система кешу пам'яті. Коли виникає така ситуація, функцію збереження можна вимкнути. Інші функції Redis включають можливість підтримувати спрощену асинхронну реплікацію, транзакції, pub і sub, сценарії Lua, використання ключів з обмеженим TTL (час життя), LRU (найменше живий), видалення різних ключів, автоматичне відновлення після відмови та багато іншого. Користувачі можуть поєднати Redis з більшістю мов програмування, які використовуються сьогодні.

MongoDB – це документо-орієнтована база даних, яка має масштабованість і гнучкість, які користувачі вважатимуть привабливими для запитів та індексування [6–9]. MongoDB має можливість зберігати дані в змінних документах, що означає, що поля можуть відрізнятися від документа до документа, а структуру даних можна змінювати з часом. MongoDB здатна надавати рішення для надзвичайно складних проблем і може керувати великими обсягами інформації. MongoDB зберігає, обробляє та виконує дані у двійковій формі та використовує дуже зручне представлення документів у форматі JSON для введення та виведення даних. Функціонал командного рядка MongoDB також досить простий у використанні. Типи даних цієї платформи досить стандартні та схожі на мови програмування зі строгими типами, наприклад Java або C++. Користувачі можуть переглядати ці типи даних у вигляді рядків у відповідних файлах JSON. MongoDB працює з двійковим представленням, у якому кожен конкретний тип BSON представлено цілим числом та рядковими ідентифікаторами для

кожного типу окремого значення. MongoDB – це, по суті, розподілена база даних. Через це надзвичайно висока доступність, корисне горизонтальне масштабування та географічний розподіл є частиною основної функції платформи, а сама платформа проста у використанні. Модель документа MongoDB проста у вивченні та впровадженні користувачами, але при цьому забезпечує всі різноманітні можливості, необхідні для створення найскладніших рішень складних проблем будь-якого масштабу.

Постановка завдання. Основною задачею роботи є на основі порівняльного аналізу двох популярних СУБД MongoDB та Redis визначити кращу для розширення функціоналу існуючої. Створити новий сервіс для забезпечення комунікації в реальному часі через вебсокет з'єднання для медичної інформаційної системи HELSI. При створенні бази даних врахувати можливість високого навантаження та необхідність додати агрегування даних в наступних ітераціях функціоналу.

Результати дослідження. Порівняльна характеристика баз даних Redis і MongoDB [6–9]

Зберігання даних. MongoDB зберігає дані у формі документів JSON. З іншого боку, redis зберігає дані в пам'яті як пару ключ-значення. Redis працює дуже добре, коли дані швидко змінюються та можуть поміститися в пам'ять. Нижче показана (рис. 1) ілюстрація зберігання даних у Redis з можливими типами даних [7].

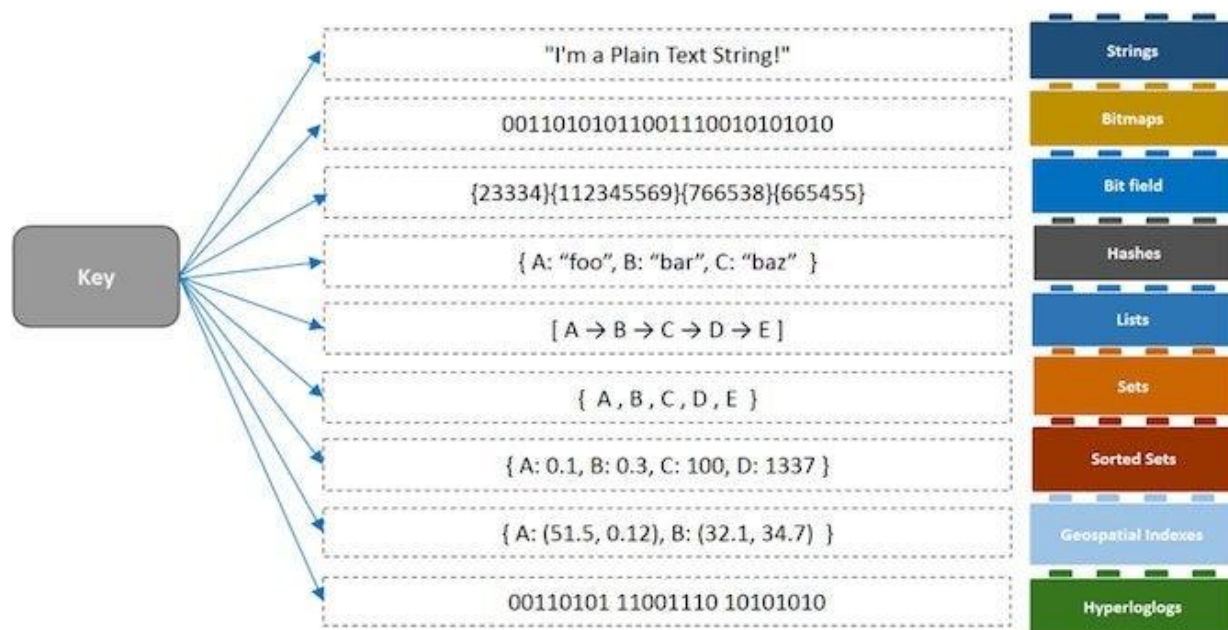


Рис. 1. Структура зберігання даних у Redis

Для MongoDB відсутність схеми означає, що два документа в структурі даних NoSQL не повинні мати однакові поля і можуть зберігати дані різних типів. Ось, наприклад, масив об'єктів, набір полів яких не збігається.

{ Model: "BMW", Color: "Red", Manufactured: 2016 },

{ Model: "Mercedes", Type: "Coupe", Color: "Black", Manufactured: "1-1-2017" }

Мова. У випадку кожної NoSQL бази даних мова відрізняється, для Redis це скриптова мова Lua, для MongoDB це модифікована версія Javascript.

Безпека. У Redis немає вбудованого контролю доступу на основі ролей (RBAC). Користувачі можуть отримати доступ до БД за допомогою простих імен користувачів і паролів, що не є дуже безпечним способом доступу до даних.

У MongoDB є кілька варіантів доступу до оболонки. Ви можете використовувати просте ім'я користувача та пароль, або інші інструменти, такі як RBAC та LDAP, вони легко інтегруються з MongoDB.

Маштабування. Redis пропонує реплікацію master-slave, що означає, що можна оновлювати один або кілька slave-серверів. Використовуючи Redis Enterprise, ви можете мати менеджер кластерів і архітектуру кластера без спільного доступу. Redis також підтримує шардинг і повторний шардинг, пропонуючи високу доступність і реплікацію в пам'яті

Що стосується MongoDB, то вона трохи гнучкіша. MongoDB має реплікацію з одним master і вбудованим авто-вибором. Це означає, що ви можете налаштувати другу базу даних, яку можна вибрати автоматично, якщо початкова база даних недоступна.

Продуктивність. MongoDB є безсхемною, що означає, що можна вставляти дані з різною структурою. Вона не перевіряє схему перед вставленням, що робить його надзвичайно швидкою. Але Redis працює в оперативній пам'яті тому при роботі з не дуже великими значеннями ключів він може бути швидшим за MongoDB.

Продуктивність буде продемонстрована на прикладі «YCSB workloads» [10]. Тестування продуктивності проведено на 10 мільйонах записів. Платформа для тестування – сервер з 32 гігабайтами оперативної пам'яті та 16 ядрами центрального процесору. Перший тест це читання по основному ключу, як видно із графіку на (рис. 2). Redis показав приблизно на 8000 операцій за секунду більше ніж MongoDB.

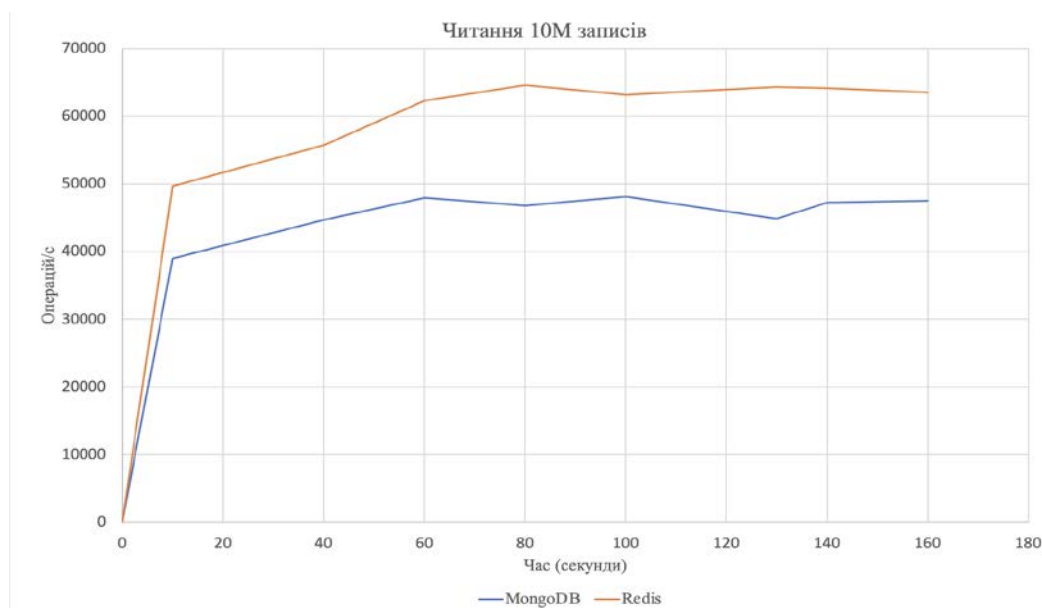


Рис. 2. Читання 10 мільйонів записів

У тесті оновлення даних також перемагає Redis (рис. 3). Під час цього тесту виконувались операції пошуку і оновлення. Варто відмітити, що при оновленні в Redis просто відбувається заміна значення ключа, а в MongoDB функція update призводить до досить важкої операції зсуву на диску.

Останній тест це читання останнього доданого запису (рис. 4) і тут вперше MongoDB виявляється швидшою за Redis. Це легко можна пояснити тим що в ранніх версіях MongoDB містить вбудовану систему розумного кешування записів, тому для часто повторюваних запитів або для нещодавно доданих документів буде виконуватись вибірка з кешу в оперативній пам'яті, а не з фізичного диску.

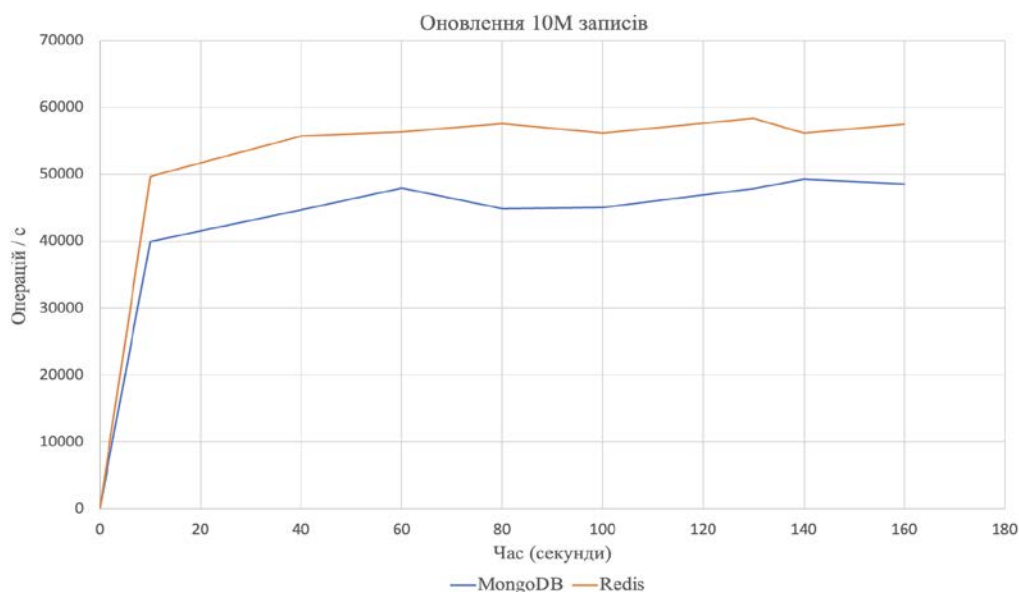


Рис. 3. Оновлення 10 мільйонів записів

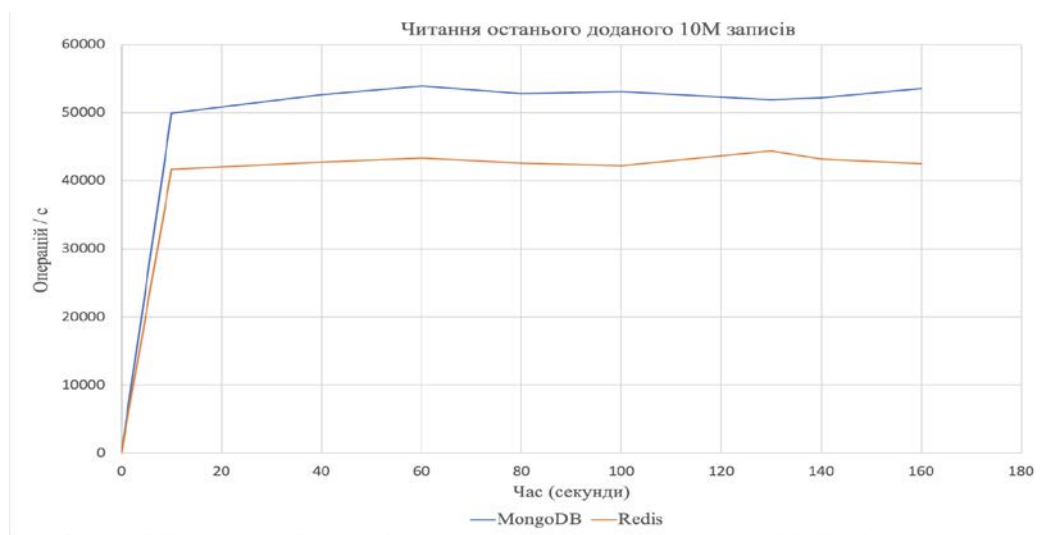


Рис. 4. Читання останнього доданого запису

Переваги MongoDB. MongoDB – це більш «традиційна» звичайна база даних, яка має розширені функції обробки даних. Зручність в управлінні: СУБД не потребує окремого адміністратора бази даних. Завдяки достатній зручності у використанні, їй легко можуть користуватися як розробники, так і системні адміністратори. MongoDB має розширену мову запитів. MongoDB пропонує багатодокументні ACID транзакції з версії 4.0. Рівень захищених сокетів (SSL), контроль доступу на основі ролей (RBAC) і масштабування – все це вбудовано в основу платформи.

Динамічна схема: як згадувалося вище, ця СУБД дозволяє гнучко працювати зі схемою даних без необхідності змінювати самі дані. Якщо користувач уже використовує MongoDB як своє основне рішення для баз даних, то його операційні витрати та витрати на розробку стануть досить низькими, оскільки користувачі матимуть лише одну основну базу даних для вивчення та керування, а не кілька баз даних MongoDB.

Переваги Redis: надзвичайно просто налаштувати з «коробки»; дуже простий у використанні та має відносно невелику криву навчання; забезпечує можливість зберігання на

диск, яку користувачі можуть налаштувати, і, як наслідок, легко впоратися з створенням кешу заново у разі збою системи; це одне з кращих рішень для кешування, яке добре виконує свою роль. Він також має розширені структури даних, які дозволяють використовувати багато потужних і корисних способів збереження та запиту даних, які неможливо зробити за допомогою базового кешу ключ-значення.

Практична реалізація чату. Розробка чату почалась з вибору СУБД, в проекті вже використовуються такі СУБД як: MongoDB, MySQL, PostgreSQL та Redis. Використовувати реляційну СУБД в рамках розробки цього функціоналу не доцільно, тому що бізнес вимоги описані лише для першої версії і надалі можуть сильно змінитись, а тоді потрібно буде міняти структуру БД. Також немає сенсу у використанні реляційної структури тому що за вимогами чат не має зв'язків з медичними даними пацієнтів які зберігаються в PostgreSQL. На вибір залишилися дві NoSQL СУБД Redis та MongoDB, хоча в тестах швидкодії Redis трохи обійшов MongoDB, вона компенсує це своєю гнучкістю та функціональністю. Отже для розробки функціоналу було обрано СУБД MongoDB, також застосовувались технології .NET 6.0 та бібліотека SignalR Core для роботи з вебсокет підключеннями [11, 12, 13].

WebSocket – забезпечує двонаправлений повнодуплексний канал зв'язку через один TCP-сокет. Він може використовуватись будь-яким клієнт-серверним застосунком. WebSocket був стандартизований W3C, протокол WebSocket стандартизований IETF як RFC 6455.

Далі розглянемо сутності зберігання даних і основні методи шару бізнес логіки. Основною сутністю є чат, у нього є зв'язок з прийомом(ContextId) в рамках якого він відбувається. Також в сутності чату знаходиться змінна загальної кількості повідомлень для подальшого розрахунку кількості непрочитаних повідомлень учасника:

```
[BsonIgnoreExtraElements, Table("rtc_chats")]  
public class ChatEntity  
{  
    [BsonId, BsonRepresentation(BsonType.String)]  
    public Guid Id { get; set; }  
  
    [BsonElement("cid")]  
    public string ContextId { get; set; }  
  
    [BsonElement("ct")]  
    public byte ContextType { get; set; }  
  
    [BsonElement("p")]  
    public IEnumerable<ExtendedParticipantEntity> Participants { get; set; }  
  
    [BsonElement("mc")]  
    public long MessagesCount { get; set; } = 0;  
  
    [BsonElement("cat")]  
    public DateTime CreatedAt { get; set; }  
  
    [BsonElement("uat")]  
    public DateTime UpdatedAt { get; set; }  
}
```

У кожного чату є учасники, в першій ітерації функціоналу учасників може бути три: лікар, пацієнт і пов'язана особа пацієнта яка має доступ до прийому(наприклад мати для неповнолітнього пацієнта). Для опису учасника є класи ExtendedParticipantEntity і ParticipantEntity:

```
[BsonIgnoreExtraElements]
public class ParticipantEntity
{
    [BsonElement("uid")]
    public string UserId { get; set; }

    [BsonElement("rid")]
    public string ResourceId { get; set; }

    [BsonElement("r")]
    public byte Role { get; set; }
}
```

Клас ExtendedParticipantEntity окрім ідентифікаторів учасника містить ще змінні кількості відправлених повідомлень, відправлених вкладень та прочитаних повідомлень:

```
[BsonIgnoreExtraElements]
public class ExtendedParticipantEntity : ParticipantEntity
{
    [BsonElement("smc")]
    public int SentMessagesCount { get; set; }

    [BsonElement("sac")]
    public int SentAttachmentsCount { get; set; }

    [BsonElement("rmc")]
    public int ReadMessagesCount { get; set; }
}
```

Клас MessageEntity описує сутність повідомлення у чаті, він містить посилання на чат, масив вкладень, та інформацію про учасників які прочитали це повідомлення:

```
[BsonIgnoreExtraElements, Table("rtc_messages")]
public class MessageEntity
{
    [BsonId, BsonRepresentation(BsonType.String)]
    public Guid Id { get; set; } = Guid.NewGuid();

    [BsonElement("cid"), BsonRepresentation(BsonType.String)]
    public Guid ChatId { get; set; }

    [BsonElement("t")]
    public string Text { get; set; }

    [BsonElement("a")]
    public IEnumerable<AttachmentEntity> Attachments { get; set; }

    [BsonElement("rby")]
    public HashSet<string> ReadBy { get; set; }

    [BsonElement("cby")]
    public ParticipantEntity CreatedBy { get; set; }

    [BsonElement("cat")]
    public DateTime CreatedAt { get; set; }

    [BsonElement("uat")]
```

```
public DateTime UpdatedAt { get; set; }  
}
```

В класі ChatsService є три основні методи. Перший це отримати чат по прийому або створити чати якщо такого чату ще не існує. В середині методу відбуваються перевірки чи має користувач доступ до цього прийому, а також відбуваються запит на інший сервіс для отримання деталей по прийому, якщо чату ще не існує буде створений новий і додано учасників до нього:

```
public async ValueTask<ServiceResponse<ChatModel, ValidationResult>> GetOrCreateChatAsync(string  
eventId, ParticipantModel requester)
```

```
{  
    if (string.IsNullOrEmpty(eventId))  
    {  
        return new ServiceResponse<ChatModel, ValidationResult>(  
            new ValidationResult()  
            {Errors = {new ValidationFailure("eventId", _localizer.Localize(ValidationMessages.Required))}},  
            ServiceResponseStatuses.ValidationFailed);  
    }
```

```
    var chat = await _chatsRepository.GetOneEventChatAsync(eventId);
```

```
    if (chat is not null)  
    {  
        if (!chat.Participants.Select(s => s.RelativeUserId).Contains(requester.RelativeUserId))  
        {  
            return new ServiceResponse<ChatModel, ValidationResult>(  
                new ValidationResult()  
                {Errors = {new ValidationFailure("", _localizer.Localize(ValidationMessages.AccessDenied))}},  
                ServiceResponseStatuses.Forbidden);  
        }
```

```
        return new ServiceResponse<ChatModel, ValidationResult>(chat);  
    }
```

```
    var eventRequest = await _eventsServiceProvider.GetOneAsync(eventId);
```

```
    if (!eventRequest.IsSuccess)  
    {  
        return new ServiceResponse<ChatModel, ValidationResult>(eventRequest.Errors,  
            eventRequest.Status);  
    }
```

```
    if (eventRequest.Result.PatientCreator != requester.RelativeUserId &&  
        eventRequest.Result.PatientId != requester.RelativeUserId &&  
        eventRequest.Result.ResourceId != requester.RelativeUserId)  
    {  
        return new ServiceResponse<ChatModel, ValidationResult>(  
            new ValidationResult()  
            {Errors = {new ValidationFailure("", _localizer.Localize(ValidationMessages.AccessDenied))}},  
            ServiceResponseStatuses.Forbidden);  
    }
```

```
    var participants = new List<ExtendedParticipantModel>()
```

```
{
new()
{
ResourceId = eventRequest.Result.ResourceId,
UserId = eventRequest.Result.ResourceUserId,
Role = Roles.Doctor
},
new()
{
UserId = eventRequest.Result.PatientId,
Role = Roles.Patient
},
};

if (!string.IsNullOrEmpty(eventRequest.Result.PatientCreator) &&
eventRequest.Result.PatientId != eventRequest.Result.PatientCreator)
{
participants.Add(new ExtendedParticipantModel
{
UserId = eventRequest.Result.PatientCreator,
Role = Roles.LinkedPatient
});
}

chat = new ChatModel
{
ContextType = ContextTypes.Event,
ContextId = eventId,
CreatedAt = DateTime.Now,
UpdatedAt = DateTime.Now,
Participants = participants,
MessagesCount = 0
};
await _chatsRepository.CreateChatAsync(chat);

return new ServiceResponse<ChatModel, ValidationResult>(chat);
}
```

Метод SaveMessageAsync відповідає за збереження нового повідомлення надісланого до чату. В середині відбуваються перевірки на валідність моделі повідомлення і в разі якщо все добре повідомлення зберігається у базу даних і створюються фонові задачі на відправку сповіщень іншим учасникам чату:

```
public async ValueTask<ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>>
SaveMessageAsync(SaveMessageRequest request)
{
var validationResult = new SaveMessageRequestValidator(_localizer).Validate(request);
if (!validationResult.IsValid)
{
return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(validationResult,
ServiceResponseStatuses.ValidationFailed);
}

var chat = await _chatsRepository.GetOneChatAsync(request.ChatId);
if (chat is null)
```

```
{  
return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(  
new ValidationResult() {Errors = {new ValidationFailure("chat",  
_localizer.Localize(ValidationMessages.EntityNotFound))}},  
ServiceResponseStatuses.NotFound);  
}  
  
var eventRequest = await _eventsServiceProvider.GetOneAsync(chat.ContextId);  
if (!eventRequest.IsSuccess)  
{  
return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(eventRequest.Errors,  
eventRequest.Status);  
}  
  
if (DateTime.TryParse(eventRequest.Result.DateBegin, out var eventDate) && eventDate.Date <  
DateTime.Today)  
{  
return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(  
new ValidationResult()  
{Errors = {new ValidationFailure("", _localizer.Localize(ValidationMessages.AccessDenied))}},  
ServiceResponseStatuses.Forbidden);  
}  
  
var requestHasAttachments = request.Attachments?.Any() ?? false;  
var creatorParticipant =  
chat.Participants.FirstOrDefault(x => x.RelativeUserId == request.CreatedBy.RelativeUserId);  
  
if (creatorParticipant is null)  
{  
return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(  
new ValidationResult() {Errors = {new ValidationFailure("",  
_localizer.Localize(ValidationMessages.AccessDenied))}},  
ServiceResponseStatuses.Forbidden);  
}  
  
if (creatorParticipant.SentMessagesCount >= 1000)  
{  
return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(  
new ValidationResult()  
{  
Errors =  
{  
new ValidationFailure("",  
_localizer.Localize(ValidationMessages.MaxMessagesCountExceeded)  
.Replace(ValidationMessages.LocalizationComparisonAttribute, "1000"))  
}  
},  
ServiceResponseStatuses.ValidationFailed);  
}  
  
if (requestHasAttachments && creatorParticipant.SentAttachmentsCount >= 15)  
{  
return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(  

```

```
new ValidationResult()
{
    Errors =
    {
        new ValidationFailure("",
            _localizer.Localize(ValidationMessages.MaxAttachmentsCountExceeded)
                .Replace(ValidationMessages.LocalizationComparisonAttribute, "15"))
    },
    ServiceResponseStatuses.ValidationFailed);
}

var message = new MessageModel()
{
    Attachments = request.Attachments,
    CreatedAt = DateTime.Now,
    UpdatedAt = DateTime.Now,
    CreatedBy = request.CreatedBy,
    ReadBy = new HashSet<string>() {request.CreatedBy.RelativeUserId},
    Text = request.Text,
    ChatId = chat.Id
};

await _chatsRepository.SaveMessageAsync(message);
await _chatsRepository.IncrementCountersAsync(chat.Id, creatorParticipant, true, true,
    request.HasAttachments);
foreach (var participant in chat.Participants.Where(x => x.RelativeUserId !=
    creatorParticipant.RelativeUserId))
{
    await _notificationQueue.CreateAsync(new ChatNotificationTask(message.Id, chat.Id,
        participant.RelativeUserId,
        (byte) participant.Role, chat.ContextId));
}
//TODO transaction

return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(message);
}
```

Метод MarkAsRead відповідає за відмітку повідомлення як прочитаного. В середині відбуваються перевірки на валідність моделі повідомлення і в разі якщо все добре у моделі повідомлення зберігається відмітка що учасник його прочитав:

```
public async ValueTask<ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>>
MarkAsReadAsync(MarkAsReadRequest request)
{
    // ReSharper disable once MethodHasAsyncOverload
    var validationResult = new MarkAsReadRequestValidator(_localizer).Validate(request);
    if (!validationResult.IsValid)
    {
        return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(validationResult,
            ServiceResponseStatuses.ValidationFailed);
    }
    var message = await _chatsRepository.GetOneMessageAsync(request.MessageId);
    if (message is null)
```

```
{  
    return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(new ValidationResult()  
    {Errors = {new ValidationFailure("message", _localizer.Localize(ValidationMessages.EntityNotFound))}},  
    ServiceResponseStatuses.NotFound);  
}  
  
if (message.ReadBy.Contains(request.ReadBy.RelativeUserId))  
{  
    await _notificationQueue.CompleteForMessageAsync(message.Id, request.ReadBy.RelativeUserId);  
    message.IsReadByRequester = true;  
    return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(message);  
}  
  
message.ReadBy.Add(request.ReadBy.RelativeUserId);  
await _chatsRepository.UpdateMessageAsync(message);  
await _chatsRepository.IncrementCountersAsync(request.ChatId, request.ReadBy, false, true, false);  
await _notificationQueue.CompleteForMessageAsync(message.Id, request.ReadBy.RelativeUserId);  
message.IsReadByRequester = true;  
return new ServiceResponse<MessageModel, ValidationResult>(message);  
}
```

Таким чином у результаті розробки було створено новий сервіс, який відповідає за чат між лікарем і пацієнтами. Остаточний результат разом з клієнтською частиною наведено на рис. 5 та 6.

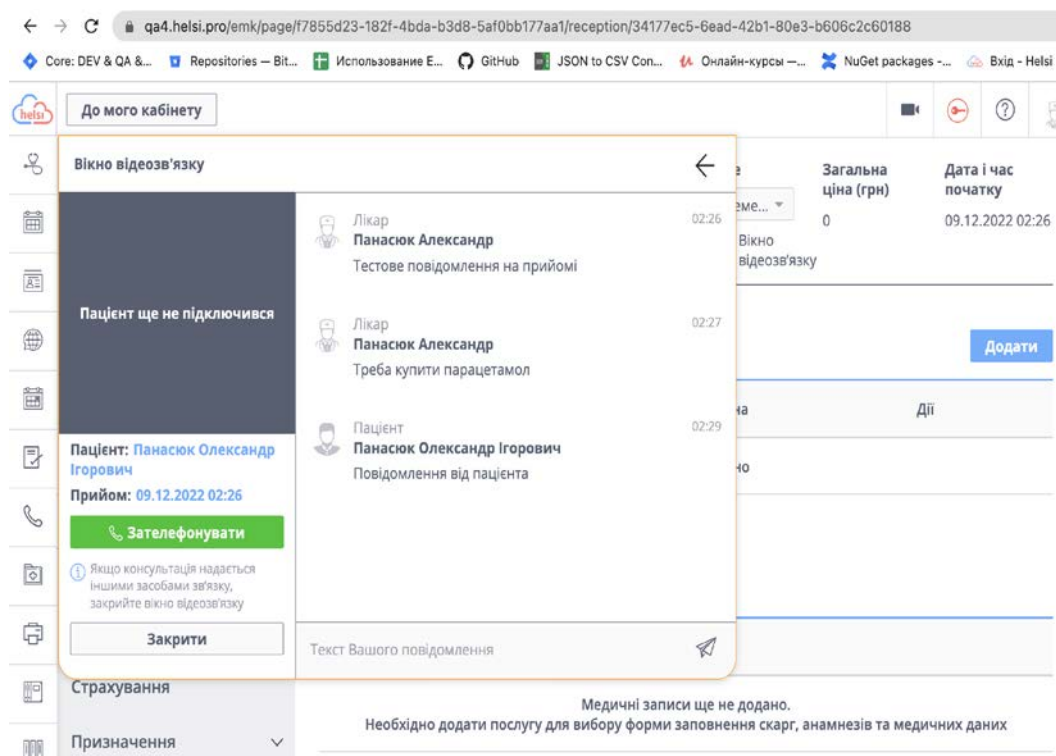


Рис. 5. Інтерфейс чату у системі helsi.pro

За допомогою використання СУБД MongoDB і її динамічної структури даних для накопичення і агрегації вдалося мінімізувати кількість логіки по формуванню великих зв'язаних сутностей у коді.

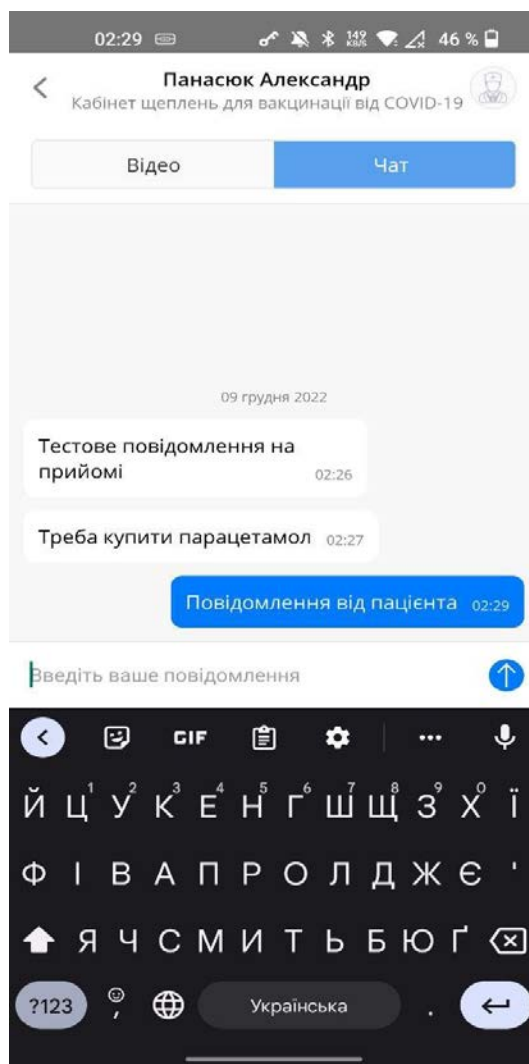


Рис. 6. Інтерфейс чату у мобільному додатку helSi.me

Висновки. Проведено аналітичне дослідження і порівняння СУБД MongoDB та Redis за характеристиками продуктивності, безпеки, типом системи зберігання даних і видом внутрішньої мови. Запропоновано використання комбінації бібліотеки SignalR Core для платформи .NET 6 разом з СУБД MongoDB для забезпечення управління підключеннями по протоколу Websocket у високонавантаженій медичній інформаційній системі при проведенні онлайн чату між пацієнтом і лікарем. Розроблено новий сервіс для забезпечення комунікації в реальному часі через вебсокет з'єднання для медичної інформаційної системи HELSI..

Розроблено теоретичні та методологічні підходи до порівняльної оцінки характеристик сучасних NoSQL СУБД і застосуванні гібридних підходів поєднання технологій, які використовують при розробленні прикладного програмного забезпечення при побудові програмних систем.

За допомогою мови програмування C# 10.0 та платформи .NET 6 і бази даних MongoDB розширено функціонал існуючої прикладної медичної інформаційної системи HELSI можливістю чату між лікарем і пацієнтом під час онлайн прийомів. Спроектровано базу даних для зберігання інформації пов'язаної з даним функціоналом. Підготовлено супутню документацію для розробки інтерфейсу щодо створеного функціоналу.

References

1. Medychni informatsiini systemy – vprovadzhuemo u vashomu medychnomu zakladi [Medical information systems – we implement in your medical institution]. URL: <https://www.medsprava.com.ua/article/544-qqq-17-m4-10-04-2017--medichn-nformatsyn-sistemi-vprovadjumo-u-vashomu-medichnomu-zaklad>.
2. Zahorodnii, H. M., Zynov'iev, Ye. S., Martynov, V. M., Shadura, V. M. (2005). HRID – nova obchysliuvalna tekhnolohiia dlia nauky [GRID – a new computing technology for science]. *Visnyk NAN Ukrainy = Bulletin of the NAS of Ukraine*, № 6, P. 17–19 [in Ukrainian].
3. Panasiuk, O. I., Pleskach, V. L., Statsenko, V. V., Khomaziuk, V. A. (2021). Rozrobka medychnoi informatsiinoi systemy dlia medychnykh zakladiv pervynnoi lanky [Development of Medical Information System for Primary Medical Institutions]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and Engineering*. № 6, P. 9–18 [in Ukrainian].
4. eHealth: website. URL: <https://ehealth.gov.ua/>.
5. Helsi.me. Helsi: website. URL: <https://helsi.me/>.
6. Redis vs MongoDB: 10 Critical Differences. URL: <https://hevodata.com/learn/redis-vs-mongodb/#perf>.
7. Redis vs Mongodb: which one should you choose in 2022? URL: <https://www.sfappworks.com/blogs/redis-vs-mongodb-which-one-should-you-choose>.
8. MongoDB vs Redis: Complete Comparision in 2022. URL: <https://naiveskill.com/mongodb-vs-redis/>.
9. Bradshaw, S., Brazil, E., Chodorow, K. (2019). MongoDB: The Definitive Guide: Powerful and Scalable Data Storage. 3rd Edition. O'Reilly Media. 511 p.
10. YCSB Workloads. URL: <https://github.com/brianfrankcooper/YCSB/wiki/Core-Workloads>.
11. Price, M. J. (2019). C# 8.0 and .NET Core 3.0 – Modern Cross-Platform Development. Packt Publishing. 818 p.
12. Albahari, J., Albahari, B. (2008). LINQ Pocket Reference: Learn and Implement LINQ for .NET Applications. O'Reilly Media. 174 p.
13. Nagel, C. (2021). Professional C# and .NET, 2021st Edition. O'Reilly Media. 31 p.

Література

1. Медичні інформаційні системи – впроваджуємо у вашому медичному закладі. URL: <https://www.medsprava.com.ua/article/544-qqq-17-m4-10-04-2017--medichn-nformatsyn-sistemi-vprovadjumo-u-vashomu-medichnomu-zaklad>.
2. Загородній Г. М., Зинов'єв Є. С., Мартинов В. М., Шадура В. М. ГРІД – нова обчислювальна технологія для науки. *Вісник НАН України*. 2005. № 6. С. 17–19.
3. Панасюк О. І., Плескач В. Л., Стаценко В. В., Хомазюк В. А. Розробка медичної інформаційної системи для медичних закладів первинної ланки. *Технології та інжиніринг*. 2021. № 6(152). С. 9–18.
4. eHealth: website. URL: <https://ehealth.gov.ua/>.
5. Helsi.me. Helsi: website. URL: <https://helsi.me/>.
6. Redis vs MongoDB: 10 Critical Differences. URL: <https://hevodata.com/learn/redis-vs-mongodb/#perf>.
7. Redis vs Mongodb: which one should you choose in 2022? URL: <https://www.sfappworks.com/blogs/redis-vs-mongodb-which-one-should-you-choose>.
8. MongoDB vs Redis: Complete Comparision in 2022. URL: <https://naiveskill.com/mongodb-vs-redis/>.
9. Bradshaw S., Brazil E., Chodorow K. MongoDB: The Definitive Guide: Powerful and Scalable Data Storage. 3rd Edition. O'Reilly Media, 2019. 511 p.
10. YCSB Workloads. URL: <https://github.com/brianfrankcooper/YCSB/wiki/Core-Workloads>.
11. Price M. J. C# 8.0 and .NET Core 3.0 – Modern Cross-Platform Development. Packt Publishing, 2019. 818 p.
12. Albahari J., Albahari B. LINQ Pocket Reference: Learn and Implement LINQ for .NET Applications. O'Reilly Media, 2008. 174 p.
13. Nagel C. Professional C# and .NET, 2021st Edition. O'Reilly Media, 2021. 31 p.

PANASIUK OLEKSANDR

Department of Applied Information Systems
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3591-3689>
Scopus Author ID: 57289566900
E-mail: vohigi@gmail.com

MOLCHANOV BOHDAN

Department of Applied Information Systems
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4633-9654>
E-mail: molchanovbohdan@gmail.com

PLESKACH VALENTYNA

Doctor of Economic Sciences, Professor
Department of Applied Information Systems
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0552-0972>
Scopus Author ID: 12039392900
ResearcherID: HNS-5015-2023
E-mail: v.pleskach@ukr.net

PANASIUK O. I., PLESKACH V. L., MOLCHANOV B. S.

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

**EXPANDING THE ONLINE COMMUNICATION FUNCTIONALITY
OF THE HELSI MEDICAL INFORMATION SYSTEM**

Purpose. Based on a comparative analysis of the two popular DBMS MongoDB and Redis, determine the best one for expanding the functionality of the existing applied information system. Create a new service to provide real-time communication via a websocket connection for the HELSI medical information system. When creating a database, take into account the possibility of high load and the need to add data aggregation in subsequent iterations of the functionality.

Methodology. The functionality was implemented using the C# 10.0 language, the ASP.NET Core 6.0 framework, and the MongoDB database.

Findings. An analytical study and comparison of the MongoDB and Redis DBMSs was carried out in terms of performance, security, type of data storage system and type of internal language. It is proposed to use a combination of the SignalR Core library for the .NET 6 platform together with the MongoDB DBMS to provide management of connections using the Websocket protocol in a highly loaded medical information system during an online chat between a patient and a doctor. A new service has been developed to provide real-time communication through a websocket connection for the medical information system HELSI.

Originality. Theoretical and methodological approaches to the comparative assessment of the characteristics of modern NoSQL DBMS and the application of hybrid approaches to the combination of technologies, which are used in the development of application software in the construction of software systems, have been developed.

Practical value. Using the C# 10.0 programming language and the .NET 6 platform and the MongoDB database, the functionality of the existing applied medical information system HELSI has been expanded with the possibility of a chat between the doctor and the patient during online appointments. A database has been designed to store information related to this functionality. Accompanying documentation for the development of the interface for the created functionality has been prepared.

Keywords: chat; online reception; client-server architecture; medical information system; data aggregation.

УДК 004.4:
005.52

KHRYSTOVA A. R., ZOSIMOV V. V., BULGAKOVA O. S.

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

SOFTWARE SOLUTIONS FOR EFFICIENT FINANCIAL MANAGEMENT AND BUSINESS METRICS TRACKING

Purpose. This paper presents the development of a software system for business metrics tracking. The purpose of this research is to provide business owners with a tool to keep track of their business metrics, allowing them to make data-driven decisions.

Methodology. The methodology of this research includes an analysis of the problem area, identification of key business metrics, and examination of existing software solutions.

Findings. This research reveals the importance of defining key business metrics for marketing, business modeling, financial planning, and other aspects. Analysis of existing software solutions identified their advantages and disadvantages, which helped to define the requirements for the software system. The software system was designed to provide the user with the ability to track and manage business metrics, collaborate with partners, and work remotely.

Originality. This research lies in the development of a software system that provides clear instructions for use, data security, and online support. The practical value of the software system is that it provides a user-friendly interface for tracking business metrics, making data-driven decisions, and improving business performance.

Practical value. This research provides a comprehensive analysis of the development of a software system for business metrics tracking, with a focus on practicality and usefulness for business owners. The software system can be used in various fields and industries, providing an effective tool for managing business metrics.

Keywords: business metrics; software system; data-driven decisions; key performance indicators; existing software solutions; financial planning.

Introduction. Top companies offer a number of metrics that help make business better and its advertising more successful. Constant control of these indicators determines the final success.

There are numerous research dedicated to the problem of tracking business metrics. One example in [1] is conducted by the Gartner Research Institute that compares various software systems for tracking business metrics. The research examined systems such as Tableau, QlikView, Microsoft Power BI, SAP Lumira, IBM Cognos Analytics, and others, and conducted a comparative analysis based on several parameters, including functionality, ease of use, data reliability, and security.

Another research [2] worth noting was conducted by Ohio State University, in which the authors proposed a methodology for evaluating the effectiveness of using business metrics to manage business operations. The study examined the use of business metrics in various industries such as retail, manufacturing, and financial services.

In general, the paper [3] provides an overview of predictive analytics methods and examines their application in the context of information systems research. In [4] authors analyze the functional capabilities, quality, and reliability of products, company strategies, as well as user reviews and experience. As a result, they create a chart known as the “Magic Quadrant”, where market-leading companies are placed in one of four quadrants depending on their ability to meet user needs and innovative strategy. This report helps organizations choose the most suitable platform for their analytics and business intelligence needs, as well as orient themselves in the current market situation and compare different products. It can also help platform developers and suppliers identify their strengths and weaknesses and improve their products for a competitive market. The paper [5] provides a comprehensive review of big data analytics in the context of business and government. The authors discuss the challenges and opportunities of big data analytics, the various techniques and tools used

in big data analytics, and the potential applications of big data analytics in different fields such as healthcare, transportation, and finance.

In addition to foreign researchers, there are many Ukrainian authors who also researched this problem. In [6] discusses the challenges and prospects of implementing business analytics systems in Ukraine, analyzes the state of the art of business analytics in the country and suggests ways to overcome the obstacles to its adoption. In [7] describes the development of a business analytics system that enables managers to make informed decisions based on real-time data from a production enterprise. In paper discusses the key features of the system and its benefits for the enterprise. The paper [8] presents methodological approaches to implementing a business analytics system in enterprises, describes the key components of the system and discusses the benefits of its implementation. Business analytics system that is based on open-source software is presented in [9]. In [10] provides an overview of the theoretical foundations of business analytics systems and discusses their practical application in trade and service enterprises and presents the key features of the systems and their benefits for the enterprises. In general, these papers provide insights into the challenges, prospects, and benefits of implementing business analytics systems in Ukrainian enterprises, as well as methodological approaches and practical applications of such systems.

However, despite the numerous studies in this field, there are still some unresolved issues that need to be addressed to improve software systems for tracking business metrics. For example, not all existing systems provide sufficient data security and user support. Additionally, many of them do not provide usage instructions and lack the necessary flexibility and scalability for managing businesses in different industries.

The aim of this paper is to create a software system for tracking business metrics for business owners, to assist in finding partners for business and simplifying decision-making for multiple business owners.

Business metrics. In order for a business to constantly grow and expand, experts in the field of business management have identified certain business metrics. It is important to know where you are going and to be able to forecast your trajectory.

Business metrics serve several functions:

- numerical representation of business processes. You know exactly how many people are interested in your product, what the conversion rate is at each stage, and how stable the situation is after n months;
- timely response to negative changes. Step-by-step analysis of indicators allows you to quickly identify a decrease in audience interest and identify the cause of such a situation;
- determining the peak seasonality. With the help of metrics, it is easy to determine the growth and decline of demand for a product in different periods;
- results of sales and marketing departments. The dynamics of changes in each period determines the effectiveness of advertising and the quality of the product itself.

Business metrics are calculated in a certain sequence. They can be represented in the form of a pyramid, where the top peak is the main indicator. At the second level are the indicators on which the main metric depends, at the third level are those on which the metrics of the second level depend, and so on.

Calculating all indicators provides a complete picture of the state of the business in a given period. Low conversion rates do not always mean poor results. On the other hand, high metrics do not always indicate positive dynamics. To identify the reasons for a decrease in demand or a decrease in profit, it is recommended to analyze the interrelation of different metrics.

There are many online business systems for managing general business, each with its own advantages and disadvantages, and the choice of a specific system depends on the company's needs

and specifics. However, the use of business metrics for business control is a necessary tool for effectively managing a company and achieving its goals. Below is an overview of some of them:

The “Balance Online” business control system [11] is one way for business owners to obtain accurate information about the financial state of their enterprise and monitor their business. Initially, the system creates a “financial snapshot” of all the company’s business processes using zones of material responsibility. Automation of the system and implementation of the audit function then follow. The process of providing reliable information has been actively developing over the past three years, and now the consulting group Metrika offers turnkey control of “Balance Online” business. Market analysis has revealed that there are applications and websites that are used for finding people and communication with the goal of starting a business or seeking funding, as well as applications for tracking personal expenses and income. An example for a finance manager is the “Money Manager” [12]. When making purchases, a photo of the receipt can be attached to each item and its category can be determined. Statistics will then be generated by category. The software system allows for searching by month and exporting reports to Excel. There is also the ability to specify spending plans, and “Money Manager” will monitor them and notify about exceeding the limit, as well as including a calculator and calendar.

The main disadvantages of the “Money Manager” software system are:

- inconvenient and difficult to understand interface;
- to accurately calculate the financial flow, it is necessary to indicate insignificant, sometimes unnecessary details of expenses;
- presence of unnecessary fields to fill in;
- lack of synchronization between devices.

Additionally, there are websites for establishing business contacts. An example of a software system for searching for goods, services, suppliers, clients, and experts in narrow areas, renting and selling commercial real estate, transportation of goods, and seeking investments is “BYITSMART”. For the reliability of the software system and the accuracy of all data available on the site, the software system verifies the official documents of potential partners. The software system provides the ability to work without intermediaries and conduct business online.

The disadvantages of the “BYITSMART” software system are as follows:

- absence of localization;
- absence of the ability to authorize through social networks.

The reviewed software systems have a wide range of functions, but they do not combine both business contact establishment and direct control and project management at the same time. The uniqueness of the software system is the ability to conduct business and track all its indicators with partners.

Designing a software system to track business metrics. After conducting a market analysis of software systems for tracking business metrics, conclusions were drawn regarding the design of a software system to make it competitive and address the issues of existing software systems. The software system should allow owners and partners to collaborate on issues and participate in voting on the future direction of the business. The software system should ensure the accuracy, sensitivity, and precision of the information obtained from analyzing the indicators displayed on graphs and charts. To ensure full functionality, the software system should consist of several parts: a server and a client. The client part should provide a user-friendly and easy-to-use interface [14, 15]. The server part should interact with the client part of the project, providing up-to-date and complete information from the database. Since it is important to protect the data and prevent loss due to server crashes or other issues, the database will be hosted in cloud storage.

Architecture and software design.

The detailed user interaction capabilities with the system are described in the use case diagram in Fig. 1. A registered system user can register new projects, edit them, join existing ones, engage in discussions, and participate in voting on project-related issues (if the user is a member of the project).

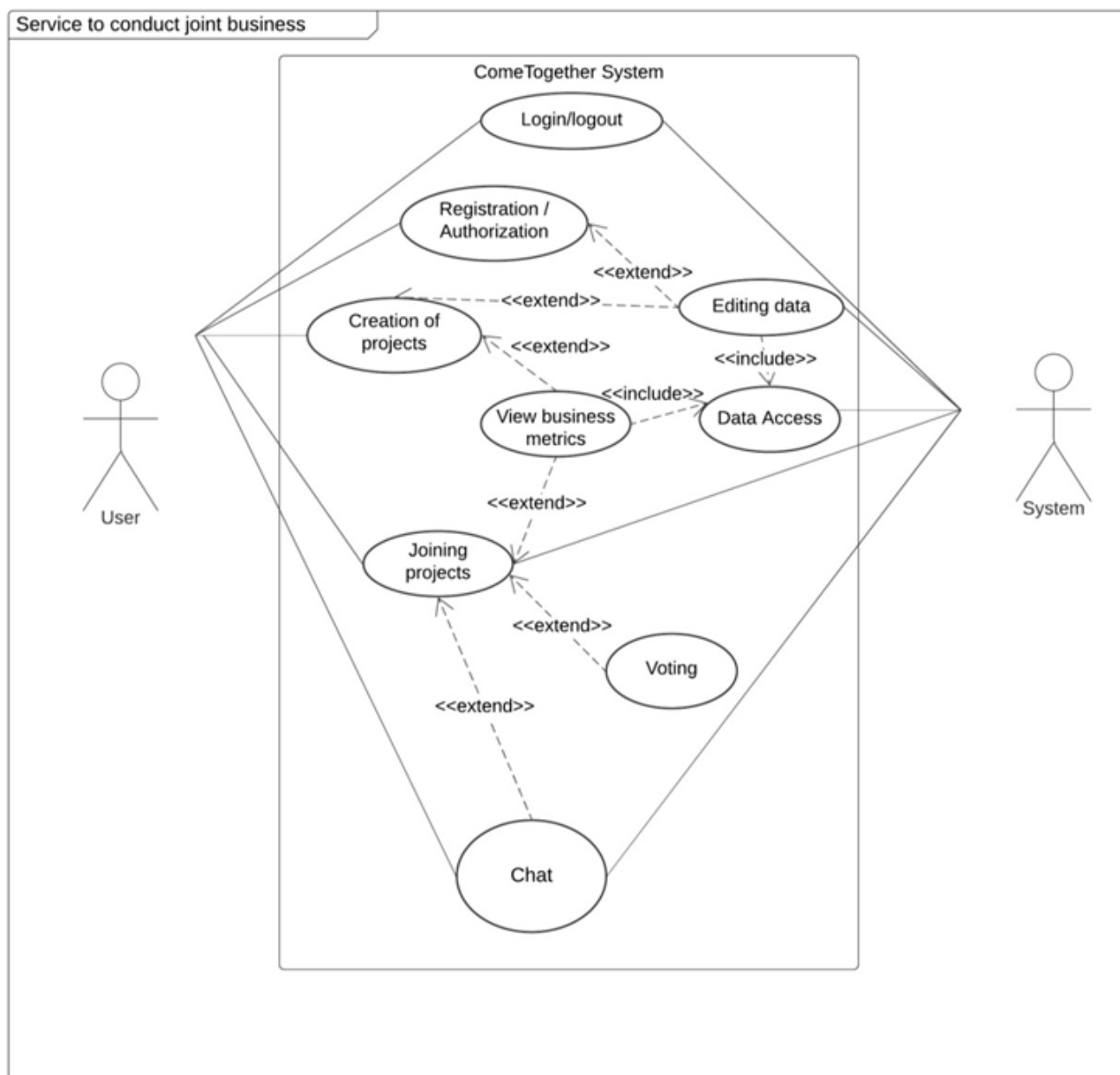


Fig. 1. Use case diagram of service to conduct joint business

The state diagram shown in Fig. 2 demonstrates the process of creating a project, making changes to it, participating in discussions, and voting on important issues. Only authorized users can create projects, while only members of the project can edit project information or view private data and metrics. Voting or creating surveys is also only available to project participants.

The project architecture is divided into three levels (presentation, business logic, and data access). The outermost levels cannot interact with each other directly, meaning the presentation layer cannot directly access the database or even the data access level, but only through the business logic

level. The components should be loosely coupled, so dependencies between components are implemented in the project.

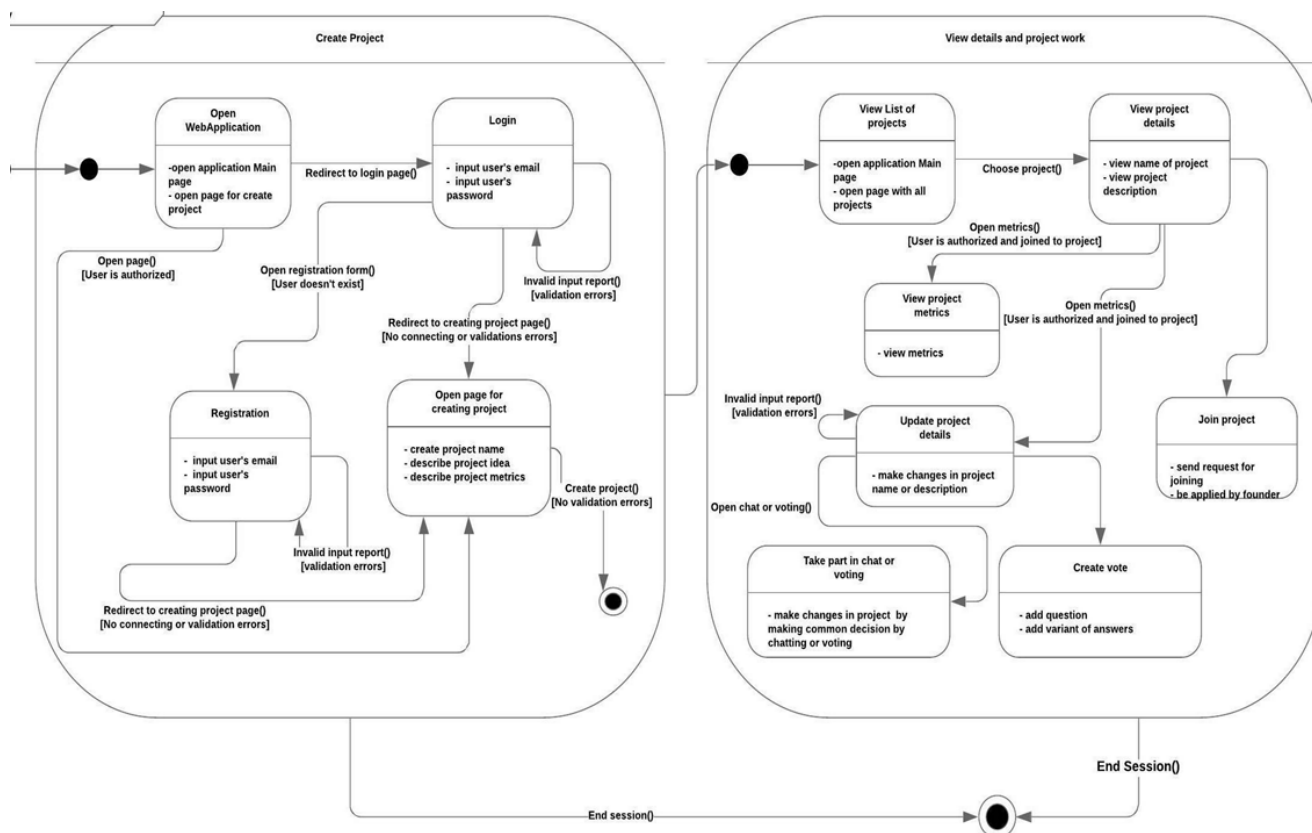


Fig. 2. State diagram of service to conduct joint business

The data access level is independent of the other levels, the business logic level depends on the data access level, and the presentation layer depends on the business logic level.

Presentation layer: This is the layer that directly interacts with the user. It includes components for the user interface, the mechanism for receiving input from the user. The presentation layer contains views and all the components that make up the user interface (styles, static HTML pages, JavaScript), as well as view models, controllers, and request context objects.

Business layer: It contains a set of components that handle the data received from the presentation layer, implements all the necessary application logic, all computations, interacts with the database, and passes the processing results to the presentation layer.

Data Access layer: It stores models that describe the entities used, and also houses specific classes for working with different data access technologies, such as the Entity Framework data context class. Repositories are also stored here, through which the business logic layer interacts with the database. Creating a storage class for each entity type can lead to a large amount of redundant code and partial updates.

Fig. 3. show the deployment diagram of the software system – the scheme of connections and dependencies between the project parts, the project infrastructure.

One of the ways to minimize redundant code is to use a shared repository, and one way to ensure that all repositories use the same database context (and therefore coordinate all updates) is to use a unit of work. To ensure this functionality and code cleanliness, the UnitOfWork pattern was used. The UnitOfWork class provides access to repositories through separate properties and defines a common context for both repositories.

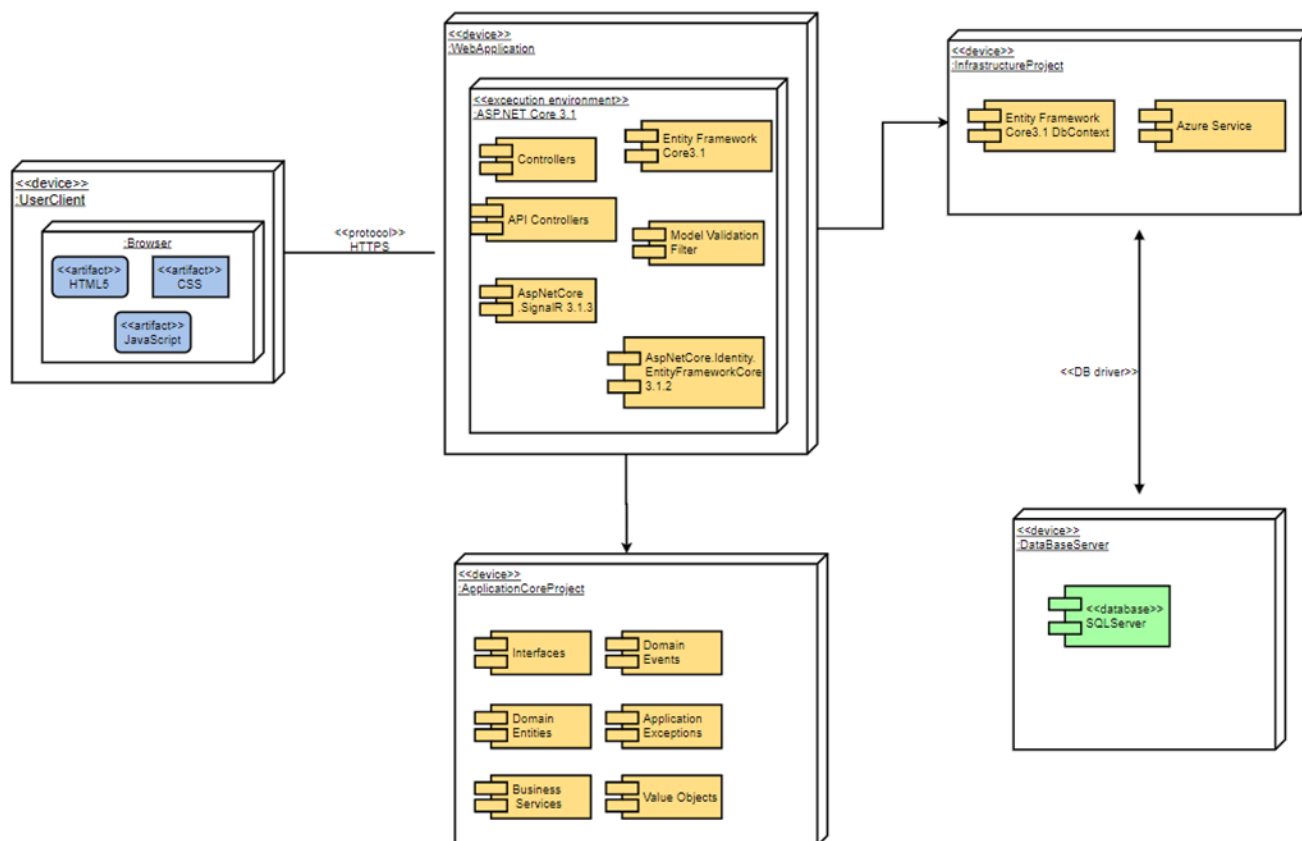


Fig. 3. Diagram of the software system

The business collaboration software system includes functionality for core scenarios for user roles such as regular users (businessmen, entrepreneurs, analysts, sponsors) and administrators or moderators. The administrator has the ability to make edits to articles published by users, check for plagiarism, and so on. Regular users are divided among themselves into owners, partners, and employees in order to provide proper access to information regarding a specific business, to differentiate access levels to business metrics for different positions in the business.

UI/UX Design. The client-side of the application is developed using HTML, CSS, JavaScript, Angular 7, and Bootstrap 4. To localize strings, the `IViewLocalizer` service is used, which works similarly to the `IStringLocalizer` service of the system. The built-in implementation of this interface is the `ViewLocalizer` class, which tries to find the required resource file depending on the path of the client page. SignalR Core is used for implementing chat between users. SignalR Core is a library that enables real-time communication in applications. SignalR uses bidirectional communication to exchange messages between the client and the server, allowing the server to send real-time data to all clients. The project includes the `signalr.min.js` file in the `wwwroot` folder for storing static files.

The server hub sends two values to the clients – the username and their message, so in the client-side function registered in the `hubConnection` method, we can obtain both values. Standard authentication and authorization mechanisms are used to create group chats where only the members of the chat can send and receive messages. The client-side of the software system is designed for use by both administrators and regular users. Upon logging into the portal, the user is presented with the main page of the software system. The software system has functionality for configuring the page themes (light and dark).

The user can view all projects registered on the website and find the one they want to join. The page for viewing all projects is shown in Fig. 4 (light theme). Entrepreneurs who have already

logged in to the website can register their own idea or project and post it on the website to find partners. The page for creating a project is shown in Fig. 5. When registering, it is desirable to provide as detailed and extensive information as possible to reduce the number of clarifying questions from other users and attract more attention from other entrepreneurs.

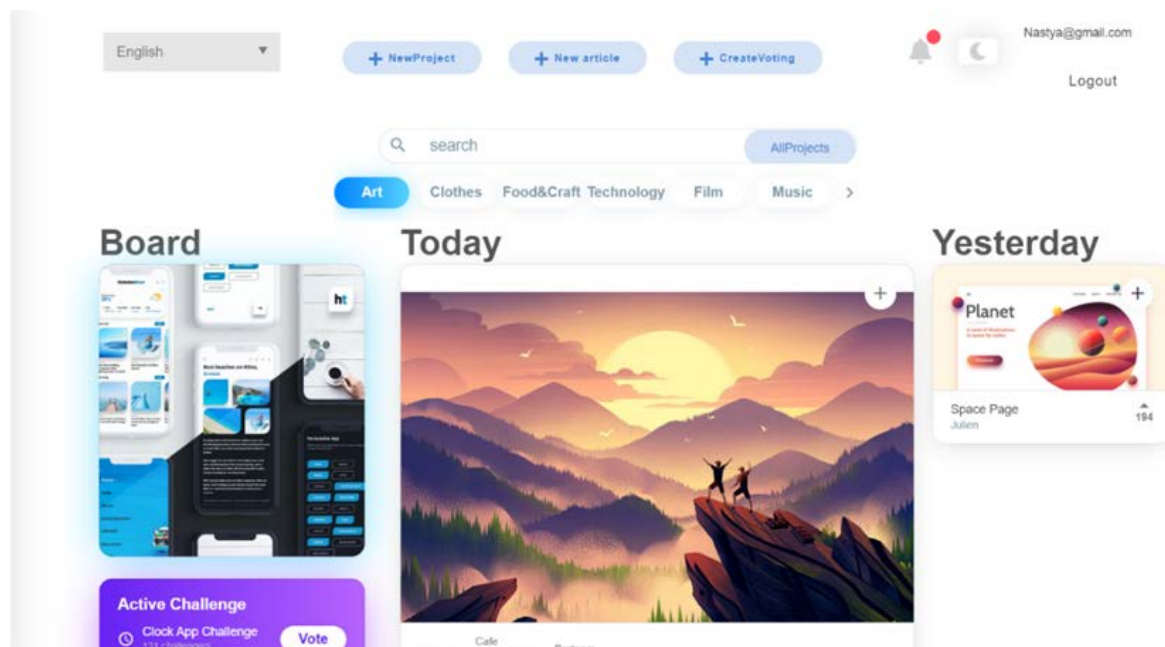


Fig. 4. The page for viewing all projects

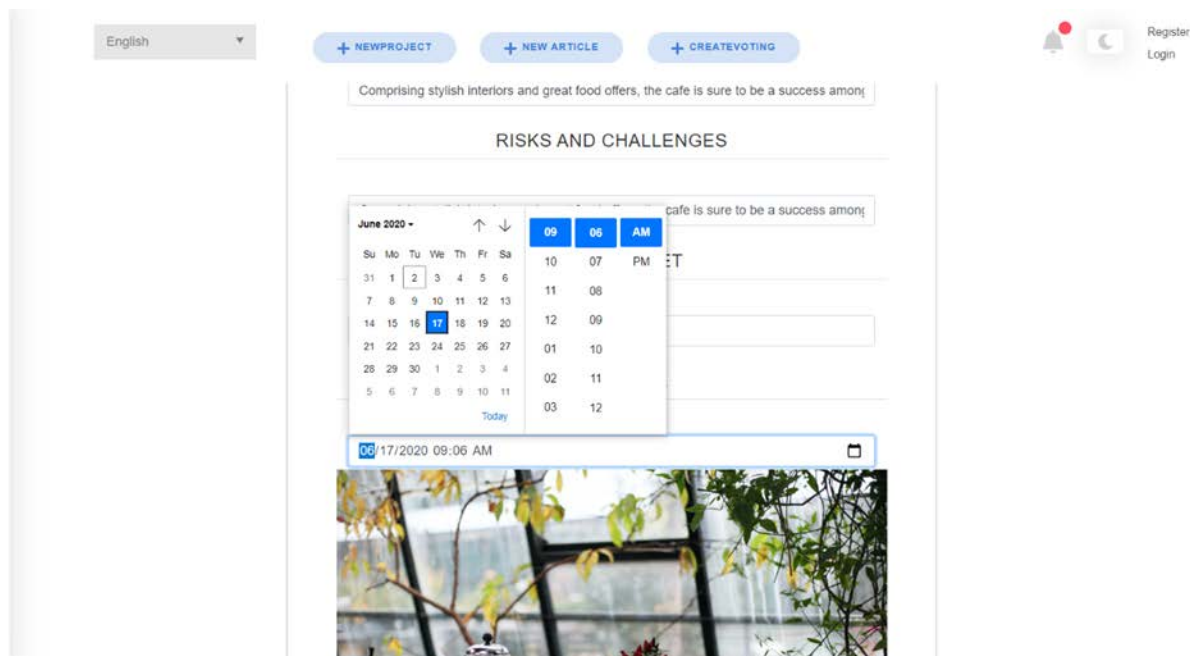


Fig. 5. The page for viewing all projects The page for creating a project

Users who already have projects or are partners in projects have access to creating and participating in votes regarding further actions related to the business. The process of creating a vote is shown in Fig. 6, 7. The poll creator can enable partners to add their own answer options (Fig. 7). It is assumed that questions can be put up for a vote in various ways. The first option is a single-choice,

the second is multiple-choice, the third is to react to each answer option, and the fourth is to rate each answer option on a scale set by the poll creator.

The screenshot shows the 'Poll Question' creation page. At the top, there are buttons for '+ New Project', '+ New Article', and '+ Poll'. On the right, there are links for 'LOG IN', 'REGISTER', and a notification bell. Below the navigation bar, the page title 'Poll Question' is centered. The main content area has a heading 'What do you want to ask?' followed by a text input field containing 'Buy new wood table for cafe?'. Below this, there are four choice input fields labeled 'Choice 1' through 'Choice 4'. The first three are filled with 'Yes', 'No', and 'My option' respectively, each with a red 'x' icon to its right. The fourth field is empty. Below the choice fields, there is a checkbox labeled 'Voters may add choices' which is checked. At the bottom, there are two buttons: 'FINISH' and 'STYLE >'. On the left side, there is a sidebar with links: 'All Projects', 'My Projects', 'News', and 'New project'.

Fig. 6. The poll creator

The screenshot shows the 'Poll Style' configuration page. At the top, there are buttons for '+ New Project', '+ New Article', and '+ Poll'. On the right, there are links for 'LOG IN', 'REGISTER', and a notification bell. Below the navigation bar, the page title 'Poll Style' is centered. The main content area features four circular icons representing different poll styles: 'Basic' (a pink circle with a white checkmark), 'Multi' (a blue circle with a white checkmark), 'Up/Down' (a blue circle with a white thumbs up icon), and 'Points' (a blue circle with a white list icon). Below these icons, there is a section titled 'Basic Vote' with three checked checkboxes: 'Each voter may vote on exactly one choice', 'Each vote is given equal weighting with everybody else's vote', and 'Voters may decide to not vote for any option'. There is also an unchecked checkbox labeled 'Voters must give a name to vote'. At the bottom, there are two buttons: 'FINISH' and 'EXPIRY >'. On the left side, there is a sidebar with links: 'All Projects', 'My Projects', 'News', and 'New project'.

Fig. 7. The creator of own answer options

Experiment and results. To conduct research with specific software business metrics, the following steps were taken:

- Defined key performance indicators (KPI) related to the software. These include user acquisition, retention, conversion rate, number of active users, revenue and customer satisfaction.
- Collected data on selected KPIs for a certain period of time (one month).
- Analyzed data to identify trends and patterns in user behavior and software usage. This involves the use of tools such as data visualization or statistical analysis.
- Software performance is compared to industry benchmarks or previous performance to assess how well the software meets its objectives.

The information obtained from the analysis can be used to make informed decisions about how to improve the software and its performance. This may include changes to the user interface, marketing strategies or business processes. Overall, the goal of this research is to better understand how the software works and identify opportunities for improvement. By focusing on specific business metrics, research can provide actionable insights that can be used to optimize software and increase its value to users.

The final research proposed in Tab. 1 for the business metrics of the software system is as follows:

Table 1

Research result for the business metrics of the software system

Metric	Metric Description	Success Criteria	Current Value	Target	Delta
DAU	Number of new users per day	+10%	500	550	50
MAU	Number of new users per month	+15%	1.5	1.725	0.225
Retention rate	Percentage of users who continue to use the software system after the first visit	+5%	50%	52.5%	2.5
Session time	Average time spent by the user in the software system per session	+10%	5 minutes	5.5 minutes	0.5
Conversion	Percentage of users who became partners or created a new project	+3%	20%	23%	3
Churn rate	Percentage of users who stopped using the software system	+2%	15%	13%	2

Based on the results of the experiment, we can conclude that the software system met the users' needs by providing accurate information and protecting data. It also provided a platform for users to find partners for their projects or join existing ones, and enabled owners and partners to collaborate and make decisions through voting.

The analysis of business metrics showed that the software product was interesting to the target audience and the project was growing and developing. However, there were some areas for improvement, such as the need to increase the number of active users and to enhance data accuracy by encouraging users to provide complete and reliable information.

Overall, the software system has the potential to simplify and automate the decision-making process for the business and help in the search for partners. The data gathered from the research can be used to inform future development and marketing strategies.

Conclusions. Effective analytics provides information for making decisions about further steps. By tracking and analyzing business metrics, it is possible to understand that the product is interesting to the target audience and to determine that the project is growing and developing. It is necessary to monitor a number of important metrics and make decisions based on the data obtained to simplify this process and automate it.

The success of a business also depends on choosing the right business partner. Undoubtedly, a company can achieve success when a team of entrepreneurs and investors is created, where each participant has their own responsibilities and area of responsibility. Therefore, when considering the option of creating a joint business, it is necessary to carefully consider who to found it with, who to take into partnership, and to make decisions regarding business development.

Similar financial management and business metrics systems were analyzed in the paper. An introduced software system that provides the user with the ability to manage their business metrics can be used to remotely control the business according to the needs and conditions identified analytically for a new product, taking into account the requirements of different users. A set of requirements for the ownership, quality, and functions of the software system to be developed was formed. The detailed architectural design of the system and the individual architectural structure of each component were specified.

References

1. Gartner Research (2022). Application Performance Monitoring and Observability. Gartner Research Institute. URL: <https://www.gartner.com>.
2. Ohio State University Ohio State University (2017). Metrics that Matter: A Guide to Measuring Business Value. URL: <https://library.osu.edu/document-registry/docs/1156/stream>.
3. Shmueli, G., Koppius, O. R. (2011). Predictive analytics in information systems research. *MIS Quarterly*, 35(3), P. 553–572.
4. Gartner Research (2019). Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms. URL: <https://www.gartner.com/en/documents/3958262>.
5. Huang, Z., Zhang, X., Zhao, Y. (2017). A review of big data analytics for business and government. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 13(2), P. 1–22.
6. Levkovets, I. Tryhub, O. (2016). Systemy biznes-analityky: problemy ta perspektyvy v Ukraini [Business Analytics Systems: Problems and Prospects in Ukraine]. *Marketynh i menedzhment innovatsii = Marketing and Management of Innovations*, No. 2, P. 224–232 [in Ukrainian].
7. Pakhomova, L., Kvasnikov, O. (2016). Razrabotka sistemy biznes-analitiki dlja upravlenija proizvodstvennym predpriatiem [Development of a Business Analytics System for Managing a Production Enterprise]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij = Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 5 (80), P. 25–31 [in Russian].
8. Cheperegin, O. Dmytryk, I. (2018). Metodychni pidkhody do vprovadzhennia systemy biznes-analityky na

Література

1. Gartner Research. Application Performance Monitoring and Observability. Gartner Research Institute, 2022. URL: <https://www.gartner.com>.
2. Ohio State University Ohio State University. Metrics that Matter: A Guide to Measuring Business Value. 2017. URL: <https://library.osu.edu/document-registry/docs/1156/stream>.
3. Shmueli G., Koppius O. R. Predictive analytics in information systems research. *MIS Quarterly*. 2011. 35(3). P. 553–572.
4. Gartner Research. Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms. Gartner Research Institute, 2019. URL: <https://www.gartner.com/en/documents/3958262>.
5. Huang Z., Zhang X., Zhao Y. A review of big data analytics for business and government. *Journal of Industrial and Management Optimization*. 2017. 13(2). P. 1–22.
6. Левковець І., Тригуб О. Системи бізнес-аналітики: проблеми та перспективи в Україні. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2016. № 2. С. 224–232.
7. Пахомова Л., Квасников О. Разработка системы бизнес-аналитики для управления производственным предприятием. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. Т. 2, № 5 (80). С. 25–31.
8. Чеперегін О., Дмитрик І. Методичні підходи до впровадження системи бізнес-

- pidpriemstvakh [Methodological Approaches to Implementing a Business Analytics System in Enterprises]. *Ekonomichnyi visnyk Donbasu = Economic Bulletin of Donbass*, Vol. 1, No. 52, P. 101–106 [in Ukrainian].
9. Hrytsenko, S., Khodakivskiy, M. (2019). Systema biznes-analityky na osnovi vilnoho prohramnoho zabezpechennia [Free software-based business analytics system]. *Problemy teorii ta metodolohii bukhhalterskoho obliku, kontroliu i analizu = Problems of Theory and Methodology of Accounting, Control and Analysis*, 1, P. 16–22 [in Ukrainian].
10. Maksymenko, O., Vozna, L. (2020). Systemy biznes-analityky na pidpriemstvakh torhivli ta obsluhovuvannia: teoretychni zasady ta praktychne zastosuvannia [Business analytics systems in trade and service enterprises: theoretical foundations and practical application]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Ekonomichni nauky = Bulletin of Chernihiv State Technological University. Series: Economic Sciences*, 1(95), P. 81–88 [in Ukrainian].
11. Business online. URL: <http://imetrika.ru/case/the-control-of-the-business-balans-onlayn>.
12. Money Manager. URL: <https://realbyteapps.com/>
13. BYITSMART. URL: <https://byitsmart.com>.
14. Zosimov, V. V., Khrystodorov, O. V., Bulgakova, O. S. (2018). Dynamically Changing User Interfaces: Software Solutions Based on Automatically Collected User Information. *Programming and Computer Software*, 44(6), P. 492–498.
15. Zosimov, V., Bulgakova, O., Pozdeev, V. (2021). Complex internet data management system. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1246 AISC, P. 639–652.
- аналітики на підприємствах. *Економічний вісник Донбасу*. 2018. Т. 1, № 52. С. 101–106.
9. Гриценко С., Ходаківський М. Система бізнес-аналітики на основі вільного програмного забезпечення. *Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу*. 2019. Вип. 1. С. 16–22.
10. Максименко О., Возна Л. Системи бізнес-аналітики на підприємствах торгівлі та обслуговування: теоретичні засади та практичне застосування. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки*. 2020. № 1 (95). С. 81–88.
11. Business online. URL: <http://imetrika.ru/case/the-control-of-the-business-balans-onlayn>.
12. Money Manager. URL: <https://realbyteapps.com/>
13. BYITSMART. URL: <https://byitsmart.com>.
14. Zosimov V. V., Khrystodorov O. V., Bulgakova O. S. Dynamically Changing User Interfaces: Software Solutions Based on Automatically Collected User Information. *Programming and Computer Software*. 2018. 44(6). P. 492–498.
15. Zosimov V., Bulgakova O., Pozdeev V. Complex internet data management system. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. 1246 AISC. P. 639–652.

KHRYSTOVA ANASTASIIA

Student, Department of Applied Information Systems,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7031-9226>
e-mail: a.khrystova@gmail.com

ZOSIMOV VIACHESLAV

Dr. of Engineering, Professor,
Department of Applied Information Systems, Taras
Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0824-4168>
Scopus Author ID: 57188682230
Researcher ID: Y-2338-2018
e-mail: zosimovvv@gmail.com

BULGAKOVA OLEKSANDRA

PhD of Engineering, Associate Professor, Department of Applied Information
Systems, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6587-8573>
Scopus Author ID: 57188687900
Researcher ID: E-1152-2018
e-mail: sashabulgakova2@gmail.com

ХРИСТОВА А. Р., ЗОСІМОВ В. В., БУЛГАКОВА О. С.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

ПРОГРАМНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ФІНАНСАМИ ТА ВІДСТЕЖЕННЯ БІЗНЕС-ПОКАЗНИКІВ

Мета. У цій статті представлено розробку програмної системи для відслідковування бізнес-метрик. Метою даного дослідження є надання власникам бізнесу інструменту для відстеження їх бізнес-метрик, що дозволяє приймати рішення на основі даних.

Методика. Методологія дослідження включає аналіз проблемної області, ідентифікацію ключових бізнес-метрик та дослідження існуючих програмних рішень.

Результати. Дослідження розкриває важливість визначення ключових бізнес-метрик для маркетингу, бізнес-моделювання, фінансового планування та інших аспектів. Аналіз існуючих програмних рішень визначив їх переваги та недоліки, що допомогли визначити вимоги до програмної системи. Програмна система була розроблена з метою надання користувачеві можливості відстежувати та керувати бізнес-метриками, співпрацювати з партнерами та працювати віддалено.

Наукова новизна. Новизна дослідження полягає у розробці програмної системи, яка надає чіткі інструкції щодо використання, захисту даних та онлайн-підтримки. Цінність програмної системи полягає в тому, що вона надає зручний інтерфейс для відстеження бізнес-метрик, прийняття рішень на основі даних та покращення результативності бізнесу.

Практична значимість. Дослідження надає комплексний аналіз розробки програмної системи для відстеження бізнес-метрик, з фокусом на практичність та корисність для власників бізнесу. Програмна система може використовуватися в різних галузях та галузях промисловості, забезпечуючи ефективний інструмент управління бізнес-метриками.

Ключові слова: бізнес-метрики; програмна система; прийняття рішень на основі даних; ключові показники ефективності; існуючі програмні рішення; фінансове планування.

УДК 678:
620.168.3

БІЛОУСОВА А. О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ВПЛИВ СВІТЛОСТАБІЛІЗАТОРІВ ТА НАНОРОЗМІРНИХ ЧАСТИНОК ДІОКСИДУ КРЕМНІЮ НА ШВИДКІСТЬ ДЕСТРУКЦІЇ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ПІД ДІЄЮ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета. Дослідження впливу введення до складу тонкошарових покриттів нанорозмірних добавок та ультрафіолетових стабілізаторів на процеси їх деструкції під дією ультрафіолетового випромінювання.

Методика. В даній роботі в якості полімерного зв'язуючого використовувався стирол-акриловий співполімер. Як поглинач ультрафіолетового випромінювання було використано світлостабілізатор основного утрудненого аміну (HALS). Кремнезем використовувався як наповнювач та агент для блокування УФ-випромінювання. Покриття було нанесено на поліровані алюмінієві підкладки сплаву 6063 та на KBr скло методом пневматичного розпилення. Дослідження хімічних перетворень у складі покриття було здійснено за допомогою ІЧ спектроскопії. Для характеристики ступеня деградації полімеру було використано карбонільний індекс. Характеристика хімічних перетворень на поверхні була здійснена за допомогою вимірювання кута змочування.

Результати. В роботі показано, що нанорозмірні частинки при вмісті 30 мас. % прискорюють окислення основного полімеру. При цьому вміст наночастинок 30–50 мас. % сповільнює втрату маси і товщини покриття на підкладці в 2,5–3 рази. Показано, що плівки на основі чистого стиролбутилметакрилата з вихідним кутом змочування водою 88° за годину експозиції значно підвищують гідрофільність: кут змочування знижується до 40°.

Наукова новизна. У результаті роботи встановлено ступінь впливу наночастинок кремнезему на фізико-хімічні властивості покриття в системі плівкоутворювач – неорганічний наповнювач з додаванням УФ стабілізатора.

Практична значимість. Виявлені закономірності показали, що нанорозмірні частинки кремнезему впливають на хід фотодеструкції тонкошарових покриттів на основі стиролбутилметакрилатного плівкоутворювача. З точки зору забезпечення стабільності водовідштовхування для систем, які призначені до використання в атмосферних умовах, цей вплив є негативним. Питання підвищення стабільності потребує подальшого дослідження.

Ключові слова: термопластичні полімери; стирол-акрилатний співполімер; діоксид кремнію; УФ-стійкість; фотодеградація полімерів; гідрофобність.

Вступ. Відомо, що карболанцюгові полімери є достатньо нестійкими по відношенню до дії ультрафіолетового випромінювання [1]. Під його дією з макромолекулярними ланцюгами відбувається ряд хімічних перетворень, які відносяться до окислення з утворенням пероксидів і гідропероксидів, зниження молекулярної маси за рахунок реакцій деполімеризації і крекінгу, тощо [2]. Природа цих перетворень залежить як від хімічного складу і структури самого полімеру, так і від умов проходження процесу, наприклад, в присутності води у вигляді атмосферної вологи або конденсату.

Кінцевими продуктами фотодеструкції є низькомолекулярні газоподібні речовини, за рахунок видалення яких спостерігається абляція поверхневого шару матеріалу, що супроводжується втратою його маси та зміною рель'єфу поверхні [3]. Цей процес за своєю суттю схожий на методику озонового травлення, який застосовується в тому числі і для визначення характеру надмолекулярних утворень, основою якого є різниця в стійкості до дії окисників кристалічної і аморфної фази полімерів. Саме цей фактор зумовлює формування рель'єфу поверхні під час ультрафіолетового опромінення.

Фотодеструкція полімерів зазвичай розглядається як негативний фактор, який призводить до втрати експлуатаційних та споживачьких властивостей продуктів: міцності,

водовідштовхувальності, кольору, зносостійкості, тощо. Але, окрім цього, вона може зумовлювати формування певних поверхневих текстур та забезпечувати визначену швидкість абляції матеріалу [4]. Це може бути використано при проектуванні, наприклад, водовідштовхуючих покриттів зі здатністю до самовідновлення за рахунок деструкції зовнішнього шару. При цьому, в якості формуючих гідрофобні властивості елементів текстури можуть використовуватися наповнювачі, функціоналізовані дисперсні частинки яких будуть поступово вивільнятися з поверхні.

Постановка завдання. Не дивлячись на значну кількість досліджень фотодеструкції структурно неоднорідних полімерів, питання про вплив на кінетику деструкції наповнювачів, в тому числі наночастинок, досліджене недостатньо. Для розробки систем, здатних до самовідновлення за рахунок фотоабляційної втрати зовнішнього шару необхідне більш глибоке розуміння цього впливу, а також наявність засобів регулювання швидкості процесу деструкції. Зокрема, повинен бути визначений вплив вмісту наночастинок на швидкість втрати маси плівкоутворюючого матеріалу, його окиснення в процесі опромінення, кінетику зміни змочуваності водою. Використання ультрафіолетових стабілізаторів на основі просторово блокованих амінів може бути розглянуто як ефективний метод зниження швидкості фотодеструкції термопластичних акрилатних полімерів.

Мета роботи – визначення впливу введення до складу тонкошарових покриттів нанорозмірних добавок та ультрафіолетових стабілізаторів на процеси їх деструкції під дією ультрафіолетового випромінювання.

Матеріали і методи дослідження. В якості полімерного зв'язуючого використовувався Pliolite AC-80, позначений як AC-80. Вибір стирол-акрилового співполімеру був обґрунтований його здатності до плівкоутворення, стійкості до високих температур і корозії [5, 6] TINUVIN 5151 (BASF), позначений як Tinuvin, є 2-(2-гідроксифеніл)-бензотріазолом, який використовувався як поглинач ультрафіолетового випромінювання в світлостабілізаторі основного утрудненого аміну (HALS). Аеросил R972 (Evonik), який є пірогенним діоксидом кремнію, обробленим диметилдихлорсиланом, позначений як R972, використовувався як наповнювач та агент для блокування УФ-випромінювання.

Рецептурний склад композицій наступний:

1. 100 мас. ч. AC-80.
2. 100 мас. ч. AC-80; 30 мас. ч. R972.
3. 100 мас. ч. AC-80; 50 мас. ч. R972.
4. 100 мас. ч. AC-80; 30 мас. ч. R972; 6 мас. ч. Tinuvin.
5. 100 мас. ч. AC-80; 50 мас. ч. R972; 6 мас. ч. Tinuvin.
6. 100 мас. ч. AC-80; 80 мас. ч. R972.

Покриття наносили на поліровані алюмінієві підкладки сплаву 6063 розміром 30 x 30 мм і на КВг скло, діаметром 40 мм та товщиною 3 мм. КВг скло було спресовано з подрібненого порошку за допомогою пресу. В результаті отримано таблетки масою 0,5 г, на які в подальшому і наносилося покриття. Нанесення проводили повітряним розпиленням, за допомогою пульверизатора (пневмопістолет 80-898, MIOŁ, компресор 81-120, MIOŁ) на відстані 20 см від зразка трьома шарами, з паузою в 30 с для рівномірного розподілення плівки. В якості носія використовували о-ксилол (Merck). Після нанесення зразки сушили в печі протягом 15–20 хв. Значення товщини покриття було розраховано на основі вимірювання площини підкладки, ваги та щільності нанесеного покриття. Випробовування на стійкість до УФ-випромінювання проводилося згідно стандарту ASTM D 4329. Для тесту використовувалася люмінесцентна лампа 340 УФ-А потужністю 400 Вт. Діапазон довжин хвиль УФ-випромінювання складає від середнього до короткого УФ.

Значення статичного кута змочування з водою було визначено методом сидячої краплі. Для кожного зразку вимірювання проводили мінімум у п'яти точках та розраховано середнє

значення. Вимірювання куту змочування було проведено з використанням оптичного мікроскопу, цифрової камери Delta Optical HCDE-50 та відповідного програмного забезпечення ScoreTek View.

Для отримання ІЧ спектрів використовували фур'є-спектрофотометр Nicolet 4700 IR. ІЧ-спектр отримано в діапазоні $4000 - 400 \text{ см}^{-1}$ методом пропускання.

Для характеристики ступеня деградації полімеру використовували карбонільний індекс (К.І.). Існують різні методи виділення індикативних смуг, які мають різну точність результатів [7]. К.І. розраховували як відношення поглинання карбонільної смуги при $1780-1750 \text{ см}^{-1}$ та контрольної смуги при поглинанні 700 см^{-1} на основі підходів, описаних у [8–11].

Результати дослідження. При експозиції акрилового плівкоутворювача в ультрафіолетовому світлі спостерігається як загальне зменшення інтенсивності спектру, що може бути пов'язане зі зменшенням кількості речовини, зокрема, товщини плівки полімеру на поверхні дослідного зразку, так і зміна спектрального патерну (рис. 1). Зокрема вже після 2 годин експозиції у основного піку валентних коливань карбоксильної групи в складі бокового замісника з координатами 1712 см^{-1} з'являється плече з координатами 1735 см^{-1} , яке відповідає формуванню $\text{C}=\text{O}$ вмісних продуктів окиснення [12]. Інтенсивність цього плеча зростає від 2 до 6 годин з 40% до 70% по відношенню до $\text{C}=\text{O}$ естерного карбоксилу. При цьому появи смуг поглинання, які відповідали б формуванню додаткових ОН груп на поверхні полімеру не відбувається і в цілому спектральний патерн залишається сталим.

Після 4 годин УФ експозиції спостерігається суттєве зменшення інтенсивності піків на ІЧ спектрі. Зокрема, зниження інтенсивності піків, які відповідають асиметричним та симетричним коливанням зв'язку $\text{C}-\text{H}$ при хвильових числах від 2850 до 3000 см^{-1} . Зниження інтенсивності цього піку відбувається разом зі зниженням інтенсивності піку, який відповідає $\text{C}=\text{O}$, що свідчить про загальну втрату матеріалу з підкладки.

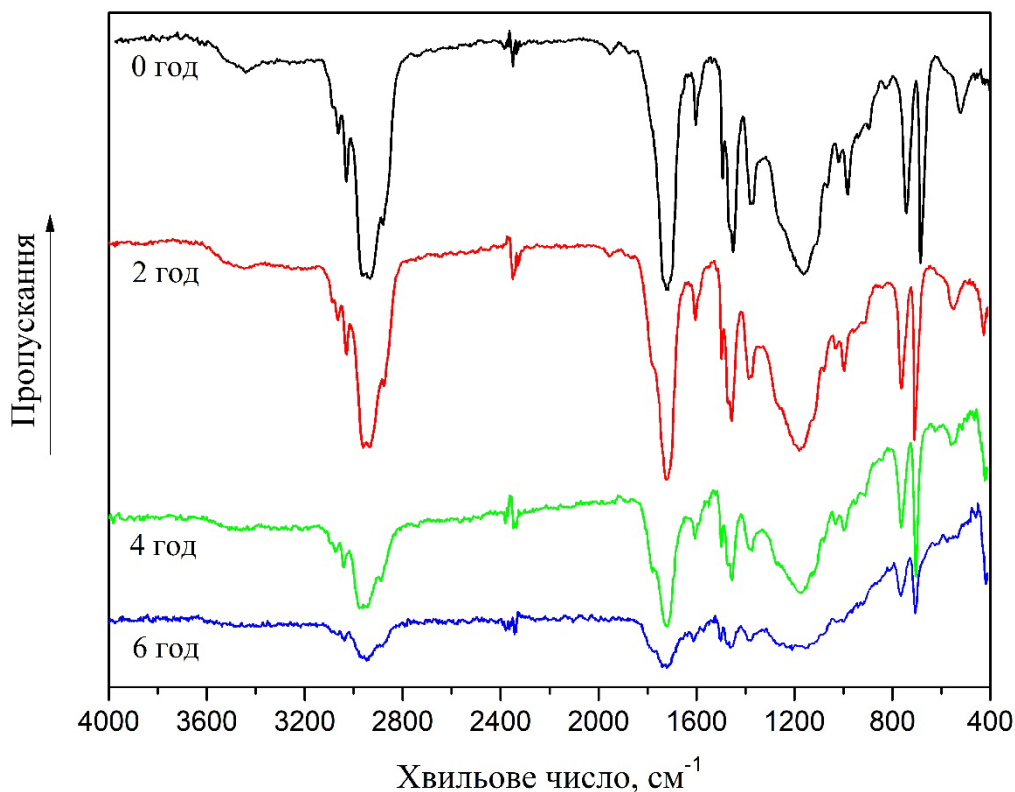


Рис. 1. Зміна хімічного складу полімерної композиції на основі АС-80 в ході УФ опромінення

Оскільки зміна інтенсивності смуги поглинання валентних коливань групи $C=O$, яка формується за рахунок деструкції є достатньо виразною характеристикою процесу, було вирішено використовувати карбонільний індекс, який являє собою співвідношення інтенсивностей смуг поглинання 1735 см^{-1} до 700 см^{-1} . Остання відповідає скелетним коливанням $C-C$ макромолекули і є стабільною під час окиснення.

Значення карбонільного індексу покриттів закономірно зростає під час експозиції УФ-випромінюванню (рис. 2). При цьому наявність 30 мас. % наночастинок обробленого диметилдихлорсилом аеросилу помітно пришвидшує процеси окиснення. В той же час підвищення його вмісту до 50 мас. % призводить до зменшення цього ефекту. Це може бути пояснене дією двох конкуруючих факторів: по перше, з введенням наночастинок підвищується шорсткість поверхні, як було показано в роботах [13, 14], тобто питома площа поверхні експонована ультрафіолету зростає. По-друге, частинки аеросилу лише частково прозорі по відношенню до УФ променів [15, 16] і певним чином екранують шари полімеру. Вірогідно, в діапазоні вмісту наночастинок 30–50 мас. % ці фактори урівноважуються.

Звертає на себе увагу підвищення карбонільного індексу при введенні УФ-стабілізатора в систему. Це пояснюється, в першу чергу утворенням $C=O$ груп в самому стабілізаторі [17] і є скоріш артефактом методу.

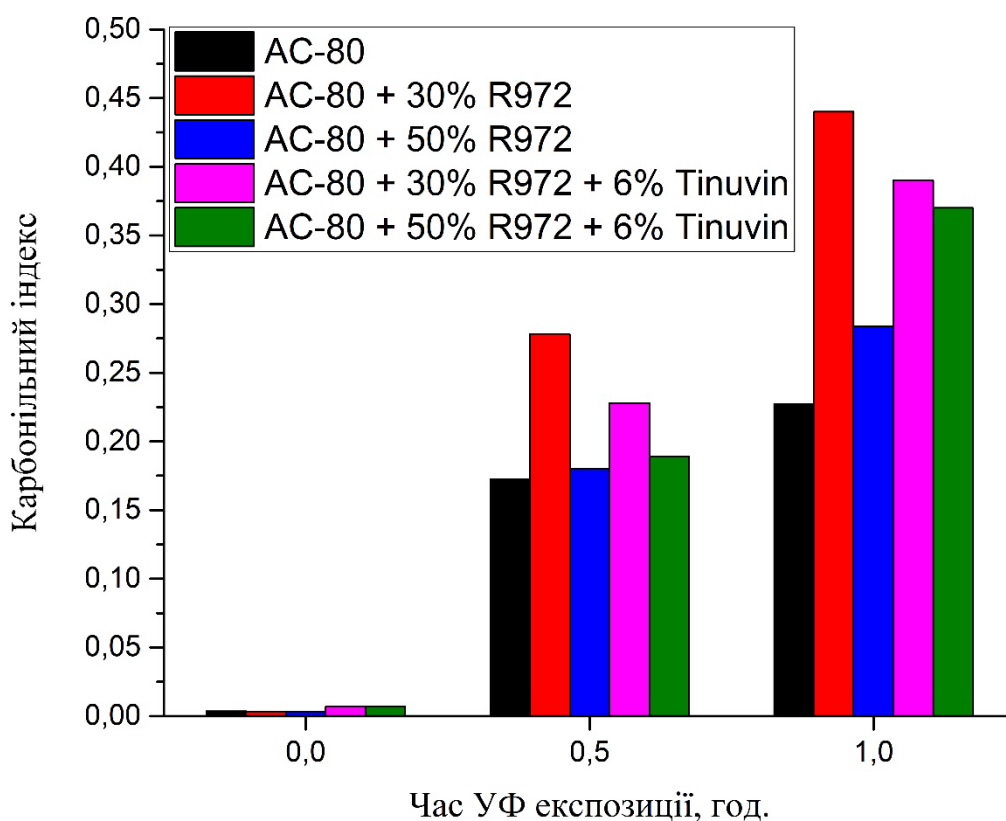


Рис. 2. Залежність карбонільного індексу матеріалів від тривалості УФ-опромінення

Для дослідження абляції матеріалу покриття в ході фотодеструкції було застосовано гравіметричний метод (рис. 3). Як видно, плівки чистого полімеру втрачають 50% від своєї товщини за 3 години експозиції, додавання наночастинок значно гальмує цей процес. Так, для 30% наповнення аеросилом після 3 годин втрачається вже 20% від товщини плівки. Вірогідно, це зумовлюється невразливістю цієї мінеральної частини покриття до фотодеструкції. Додавання УФ-стабілізатора ще в більшій мірі сповільнює втрату маси покриттів.

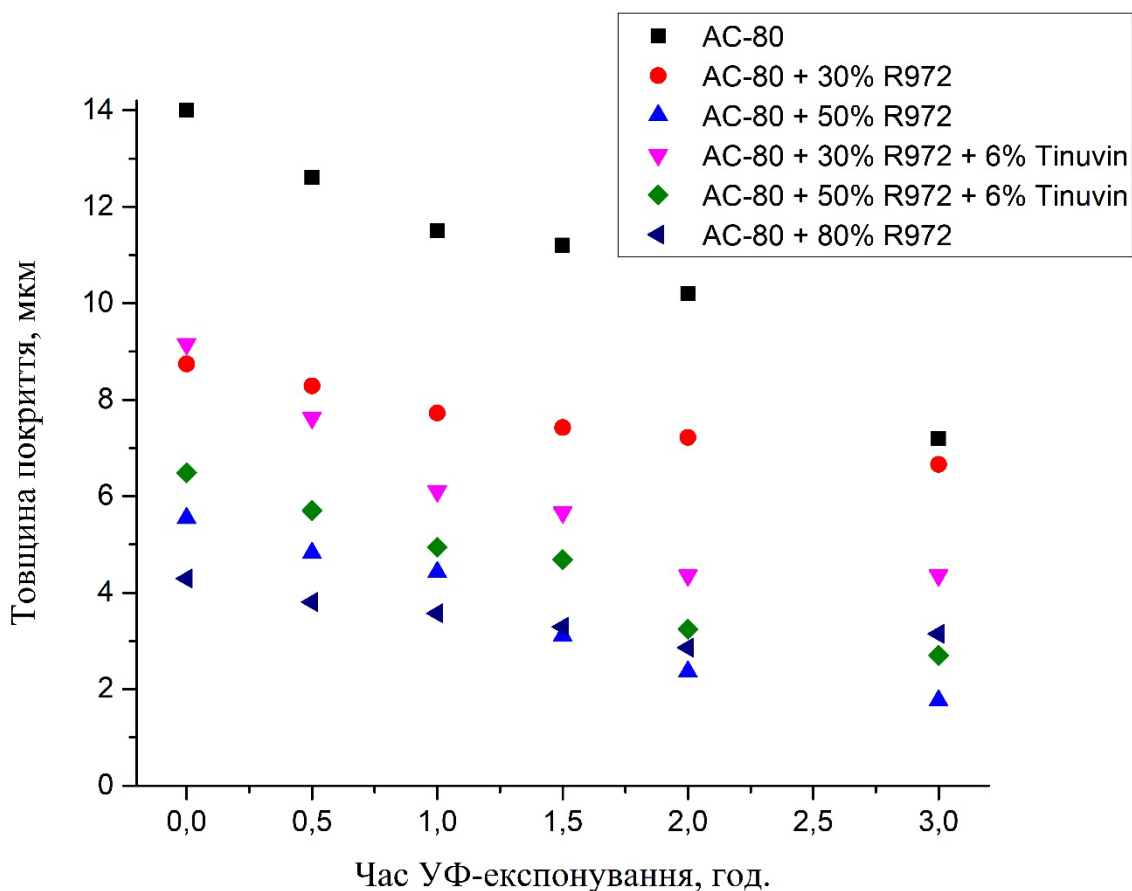


Рис. 3. Зміна товщини покриттів в ході УФ-опромінення

Зміна кутів змочування поверхонь в ході фотодеструкції полімерів відбувається як за рахунок видалення частини полімеру, так і за рахунок його окислення, що у свою чергу створює гідрофільні групи на поверхні. Вихідний полімер з кутом змочування водою $88 \pm 2^\circ$ (табл. 1) є близьким до гідрофобного, тобто має середню полярність. В ході окислення за рахунок формування на його поверхні C = O груп, змочуваність зростає. Варто зауважити що кут змочування є більш чутливим до процесів деструкції ніж дані ІЧ-спектроскопії, оскільки здатен ідентифікувати зміни в полярності поверхневого шару вже після 0,5 год. опромінення.

Таблиця 1

Змочуваність плівок в ході УФ-опромінення

Зразок	Кут змочування водою			
	0 год.	0,5 год.	1 год.	1,5 год.
AC-80	88	85	40	35
AC-80 + 30% R972	143	123	95	0
AC-80 + 50% R972	148	144	98	0
AC-80 + 30% R972 + 6% Tinuvin	135	111	48	0
AC-80 + 50% R972 + 6% Tinuvin	137	136	89	0
AC-80 + 80% R972	142	124	0	0

Вихідна гідрофобність композицій наповнених наночастинами досягається як за рахунок використання відносно неполярного полімеру, так і за рахунок текстури поверхні, зокрема формування стану змочування Касі. Композит з 50 мас. % аеросилу є близьким до

супергідрофобного. Але вже після 30 хвилин опромінення зниження змочуваності стає дуже відчутним. Після однієї години опромінення система з 80 мас. % аеросилу повністю змочується водою (за рахунок капілярного ефекту). Така швидка зміна змочуваності може бути пояснена зниженою товщиною плівки плівкоутворювача в цьому випадку у порівнянні з тими системами де наповнення нижче. Через півтори години випробування всі поверхні повністю гідрофілізуються.

Додавання УФ стабілізатора знижує кут змочування водою, на 8° та 11° для 30% та 50% аеросилу відповідно, що свідчить про зміну полярності поверхні. Також, застосування Tinuvin не допомагає довше зберегти високі кути змочування і після 30 хв. покриття втрачає свою гідрофобність.

Висновки. Показано що нанорозмірні частинки значно впливають на хід фотодеструкції тонкошарових покриттів на основі стиролбутилметакрилатного плівкоутворювача. Зокрема, при вмісті 30 мас. % вони прискорюють окислення основного полімеру, що підтверджується двократним зростанням карбонильного індексу. При цьому, вміст наночастинок 30–50 мас. % сповільнює втрату маси і товщини покриття на підкладці в 2,5–3 рази за рахунок ефекту екранування плівкоутворювача від дії ультрафіолету.

Показано що гідрофільність досліджуваних покриттів при опроміненні значно зростає. Плівки на основі чистого стиролбутилметакрилату з вихідним кутом змочування водою 88° за годину експозиції значно підвищують гідрофільність: кут змочування знижується до 40° . Наявність нанорозмірного наповнювача значно загострює зміни цього показника: вихідні покриття за рахунок текстури і реалізації стану змочування Касі характеризуються високими кутами змочування – в діапазоні $135\text{--}148^\circ$. Після години опромінення за рахунок окислення власне полімерного шару відбувається зниження цих кутів до $48\text{--}95^\circ$, а після 1,5 годин – повна гідрофілізація шару.

Таким чином, показано що наявність наночастинок в системі, з одного боку, пришвидшує гідрофілізацію поверхневих шарів покриття, а з іншого – уповільнює його абляцію. Це явище є негативним з точки зору забезпечення стабільності водовідштовхування покриттів в стані Касі, особливо таких, які призначенні до використання в атмосферних умовах. Питання підвищення їх стабільності потребує подальшого дослідження.

References

Література

1. El-Hiti, G. A., Ahmed, D. S., Yousif, E., Al-Khazrajy, O. S., Abdallah, M., Alanazi, S. A. (2021). Modifications of Polymers through the Addition of Ultraviolet Absorbers to Reduce the Aging Effect of Accelerated and Natural Irradiation. *Polym.*, No. 14(1). <https://doi.org/10.3390/polym14010020>.
2. De Castro Monsorres, K. G., Da Silva, A. F., De Sant' Ana Oliveira, S., Rodrigues, J. D., Weber, R. P. (2019). Influence of ultraviolet radiation on polymethylmethacrylate (PMMA). *JMR&T*, No. 8(5). P. 3713–3718. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.023>.
3. Lippert, T. (2010). UV Laser Ablation of Polymers: From Structuring to Thin Film Deposition. *SSMATERIALS*, P. 141–175. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03307-0_7.
4. Yousif, E., Haddad, R. (2013). Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review. *Springerplus*, No. 2(1). <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-398>.
1. El-Hiti G. A., Ahmed D. S., Yousif E., Al-Khazrajy O. S., Abdallah M., Alanazi S. A. Modifications of Polymers through the Addition of Ultraviolet Absorbers to Reduce the Aging Effect of Accelerated and Natural Irradiation. *Polym.* 2021. No. 14(1). <https://doi.org/10.3390/polym14010020>.
2. De Castro Monsorres K. G., Da Silva A. F., De Sant' Ana Oliveira S., Rodrigues J. D., Weber R. P. Influence of ultraviolet radiation on polymethylmethacrylate (PMMA). *JMR&T*. 2019. No. 8(5). P. 3713–3718. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.023>.
3. Lippert T. UV Laser Ablation of Polymers: From Structuring to Thin Film Deposition. *SSMATERIALS*. 2010. P. 141–175. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03307-0_7.
4. Yousif E., Haddad R. Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review. *Springerplus*. 2013. No. 2(1). <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-398>.

5. Mogami, H., Mori, H. (2020). Enhanced Heat Resistance and Adhesive Strength of Styrene–Acrylic Triblock Copolymer Elastomers by Incorporating Acrylic Acid. *ACS Omega*, No. 5(7), P. 3678–3688. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b04282>.
6. Gallagher, J. J., Hillmyer, M. A., Reineke, T. M. (2016). Acrylic Triblock Copolymers Incorporating Isosorbide for Pressure Sensitive Adhesives. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, No. 4(6), P. 3379–3387. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00455>.
7. Almond, J. W., Sugumaar, P., Wenzel, M. N., Hill, G., Wallis, C. J. (2020). Determination of the carbonyl index of polyethylene and polypropylene using specified area under band methodology with ATR-FTIR spectroscopy. *E-Polym.*, No. 20(1), P. 369–381. <https://doi.org/10.1515/epoly-2020-0041>.
8. Shanti, R., Hadi, A., Salim, Y. S., Chee, S. Y., Ramesh, K. P. (2017). Degradation of ultra-high molecular weight poly (methyl methacrylate-co-butyl acrylate-co-acrylic acid) under ultra violet irradiation. *RSC Adv.*, No. 7(1), P. 112–120. <https://doi.org/10.1039/c6ra25313j>.
9. Benítez, A. R., Sánchez, J. J., Arnal, M. L., Müller, A. J., Rodríguez, O., Morales, G. (2013). Abiotic degradation of LDPE and LLDPE formulated with a pro-oxidant additive. *Polym. Degrad. Stab.*, No. 98(2), P. 490–501. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.12.011>.
10. Focke, W. W., Mashele, R. P., Nhlapo, N. S. (2011). Stabilization of low-density polyethylene films containing metal stearates as photodegradants. *J. Vinyl Addit. Technol.*, No. 17(1), P. 21–27. <https://doi.org/10.1002/vnl.20248>.
11. Antunes, M. C., Agnelli, J. A. M., Babetto, A. S., Bonse, B. C., Bettini, S. H. P. (2017). Abiotic thermo-oxidative degradation of high density polyethylene: Effect of manganese stearate concentration. *Polym. Degrad. Stab.*, No. 143, P. 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.06.012>.
12. Smith, B. C. (2022). The Infrared Spectra of Polymers, VII: Polymers with Carbonyl (C=O) Bonds. *Spectroscopy*, P. 10–13. <https://doi.org/10.56530/spectroscopy.tz9280y5>.
13. Ogbonnaya, M., Ajayi, O. O., Waheed, M. A., Oyedepo, S. O., Popoola, A. P. I., Popoola, O. M. (2019). Influence of nanoparticles deposition on surface roughness and heat transfer characteristics of nanofluids: review. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci.*, Vol. 331, 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/331/1/012018>.
14. Montazer, M., Harifi, T. (2018). Nanofinishes for self-cleaning textiles. *Elsevier sci.*, P. 127–143. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101214-7.00009-1>.
5. Mogami H., Mori H. Enhanced Heat Resistance and Adhesive Strength of Styrene–Acrylic Triblock Copolymer Elastomers by Incorporating Acrylic Acid. *ACS Omega*. 2020. No. 5(7). P. 3678–3688. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b04282>.
6. Gallagher J. J., Hillmyer M. A., Reineke T. M. Acrylic Triblock Copolymers Incorporating Isosorbide for Pressure Sensitive Adhesives. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2016. No. 4(6). P. 3379–3387. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00455>.
7. Almond J. W., Sugumaar P., Wenzel M. N., Hill G., Wallis C. J. Determination of the carbonyl index of polyethylene and polypropylene using specified area under band methodology with ATR-FTIR spectroscopy. *E-Polym.* 2020. No. 20(1). P. 369–381. <https://doi.org/10.1515/epoly-2020-0041>.
8. Shanti R., Hadi A., Salim Y. S., Chee S. Y., Ramesh K. P. Degradation of ultra-high molecular weight poly (methyl methacrylate-co-butyl acrylate-co-acrylic acid) under ultra violet irradiation. *RSC Adv.* 2017. No. 7(1). P. 112–120. <https://doi.org/10.1039/c6ra25313j>.
9. Benítez A. R., Sánchez J. J., Arnal M. L., Müller A. J., Rodríguez O., Morales G. Abiotic degradation of LDPE and LLDPE formulated with a pro-oxidant additive. *Polym. Degrad. Stab.* 2013. No. 98(2). P. 490–501. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.12.011>.
10. Focke W. W., Mashele R. P., Nhlapo N. S. Stabilization of low-density polyethylene films containing metal stearates as photodegradants. *J. Vinyl Addit. Technol.* 2011. No. 17(1). P. 21–27. <https://doi.org/10.1002/vnl.20248>.
11. Antunes M. C., Agnelli J. A. M., Babetto A. S., Bonse B. C., Bettini S. H. P. Abiotic thermo-oxidative degradation of high density polyethylene: Effect of manganese stearate concentration. *Polym. Degrad. Stab.* 2017. No. 143. P. 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.06.012>.
12. Smith B. C. The Infrared Spectra of Polymers, VII: Polymers with Carbonyl (C=O) Bonds. *Spectroscopy*. 2022. P. 10–13. <https://doi.org/10.56530/spectroscopy.tz9280y5>.
13. Ogbonnaya M., Ajayi O. O., Waheed M. A., Oyedepo S. O., Popoola A. P. I., Popoola O. M. Influence of nanoparticles deposition on surface roughness and heat transfer characteristics of nanofluids: review. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci.* 2019. Vol. 331. 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/331/1/012018>.
14. Montazer M., Harifi T. Nanofinishes for self-cleaning textiles. *Elsevier sci.* 2018. P. 127–143. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101214-7.00009-1>.

15. Netzahual-Lopantzi, A., Sánchez-Ramírez, J. F., Jiménez-Pérez, J. L., Cornejo-Monroy, D., López-Gamboa, G., Correa-Pacheco, Z. N. (2019). Study of the thermal diffusivity of nanofluids containing SiO₂ decorated with Au nanoparticles by thermal lens spectroscopy. *Appl. Phys.*, No. 125(9). <https://doi.org/10.1007/s00339-019-2891-3>.
16. Panwar, K., Jassal, M., Agrawal, A. K. (2015). In situ synthesis of Ag–SiO₂ Janus particles with epoxy functionality for textile applications. *Particuology*, No. 19, P. 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2014.06.007>.
17. Campanale, C., Savino, I., Massarelli, C., Uricchio, V. F. (2023). Fourier Transform Infrared Spectroscopy to Assess the Degree of Alteration of Artificially Aged and Environmentally Weathered Microplastics. *Polymers.*, No. 15(4), P. 911. <https://doi.org/10.3390/polym15040911>.
15. Netzahual-Lopantzi A., Sánchez-Ramírez J. F., Jiménez-Pérez J. L., Cornejo-Monroy D., López-Gamboa G., Correa-Pacheco Z. N. Study of the thermal diffusivity of nanofluids containing SiO₂ decorated with Au nanoparticles by thermal lens spectroscopy. *Appl. Phys.* 2019. No. 125(9). <https://doi.org/10.1007/s00339-019-2891-3>.
16. Panwar K., Jassal M., Agrawal A. K. In situ synthesis of Ag–SiO₂ Janus particles with epoxy functionality for textile applications. *Particuology*. 2015. No. 19. P. 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2014.06.007>.
17. Campanale C., Savino I., Massarelli C., Uricchio V. F. Fourier Transform Infrared Spectroscopy to Assess the Degree of Alteration of Artificially Aged and Environmentally Weathered Microplastics. *Polymers*. 2023. No. 15(4). P. 911. <https://doi.org/10.3390/polym15040911>.

BILOUSOVA ANNA

Department of Chemical Technology of Composition Materials, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2818-8450>

E-mail: belousovaanna292@gmail.com

BILOUSOVA A. O.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

THE INFLUENCE OF LIGHT STABILIZERS AND NANOSIZED PARTICLES OF SILICA ON THE RATE OF DESTRUCTION OF POLYMER COATINGS UNDER THE UV RADIATION

Purpose. Research of the influence of adding nanosized additives and ultraviolet stabilizers to thin-layer coatings on their destruction under the action of ultraviolet radiation.

Methodology. In the work, a styrene-acrylic copolymer was used as a polymeric binder. A light stabilizer of basic hindered amine (HALS) was used as a UV absorber. Silica was used as a filler and UV blocking agent. The coating was applied to polished 6063 aluminum substrates and KBr glass by pneumatic spraying. The chemical transformations in the coating composition were studied using infrared spectrometry. The carbonyl index was used to characterize the degree of polymer degradation. The characterization of chemical transformations on the surface was carried out by measuring the wetting angle

Findings. The work shows that nanosized particles at a content of 30 wt. % accelerate the oxidation of the base polymer. At the same time, the content of nanoparticles of 30–50 wt. % slows down the loss of mass and thickness of the coating on the substrate by 2,5–3 times. It has been shown that films based on pure styrene-butyl methacrylate with an initial water wetting angle of 88° during an hour of exposure significantly increase hydrophilicity: the wetting angle decreases to 40°.

Originality. As a result of the work, the degree of influence of silica nanoparticles on the physical and chemical properties of the coating in the system film-forming agent – inorganic filler with the addition of a UV stabilizer was determined.

Practical value. The revealed regularities showed that nanosized silica particles affect the photodegradation of thin-layer coatings based on styrene-butyl methacrylate film-forming agent. From the point of view of ensuring the stability of water repellency for systems intended for use in atmospheric conditions, this effect is negative. The issue of increasing stability requires further research.

Keywords: thermoplastic polymers; styrene-acrylate copolymer; silica; UV-resistance; photodegradation of polymers; hydrophobicity.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.2.8>

УДК 678.7:
661.1:615.4

¹ВАХІТОВА Л. М., ¹ТАРАН Н. А., ¹КОРОТКИХ М. І.,
²ВАХІТОВ Р. А., ^{1,2}БЕССАРАБОВ В. І., ¹ПОПОВ А. Ф.

¹ Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Київ, Україна

² Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ОКИСЛЮВАЛЬНО-НУКЛЕОФІЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ РОЗКЛАДАННЯ ОТРУЙНИХ РЕЧОВИН ШКІРНО-НАРИВНОЇ ТА НЕРВОВО-ПАРАЛІТИЧНОЇ ДІЇ

Мета. Дослідження кінетики нуклеофільного розкладання пероксид-аніоном параоксону та окиснення пероксидом водню метилфенілсульфіду в системах вода/спирт, вода/спирт/детергент та мікроемulsії типу «олія у воді» у присутності бікарбонату амонію та борної кислоти.

Методика. За модельні системи обрано реакції нуклеофільного заміщення параоксону пероксид-аніоном та активованого окиснення метилфенілсульфіду пероксидом водню у водно-органічних системах (вода/спирт, вода/спирт/детергент, мікроемulsія «олія у воді»). Параоксон і метилфенілсульфід використані як імітатори бойових отруйних речовин нервово-паралітичної та шкірно-нарівної дії. Для утворення детергентних сумішей та мікроемulsій використовували детергенти трьох типів: катіонний – цетилпіридиній хлорид, аніонний – додецилсульфат натрію та нейтральний – 4-(1,1,3,3-тетраметилбутил)-фенілполіетиленгліколь. Як активатори використовували бікарбонат амонію та борну кислоту. Контроль за нуклеофільним заміщенням в параоксоні здійснювали спектрофотометрично при $\lambda=405$ нм за зміною поглинання 4-нітрофенолят-іону в концентраційних умовах $[HOO^-] \gg [параоксон]$. Окиснення контролювали за зменшенням поглинання метилфенілсульфіду при $\lambda=250$ нм за умови $[H_2O_2] \gg [метилфенілсульфід]$.

Результати. Визначено кінетичні параметри нуклеофільного розкладання пероксид-аніоном параоксону та активованого окиснення пероксидом водню метилфенілсульфіду в мікроемulsії типу «олія у воді» у присутності бікарбонату амонію та борної кислоти. Встановлено, що в мікроемulsії складу вода:етиленгліколь (4:1)/спирт/гексан/детергент константа зв'язування субстратів підвищується в 3–5 разів в порівнянні з аналогічною величиною у водно-спиртових детергентних та мицелярних розчинах. Проведено порівняння реакційної здатності пероксиду водню як окислювача у нейтральній формі та як нуклеофільного реагенту у вигляді пероксид-аніону у присутності та відсутності бікарбонату амонію та борної кислоти. Встановлено, що у водно-спиртовому середовищі швидкість нуклеофільного заміщення в параоксоні та окиснення метилфенілсульфіду знижується, незалежно від обраного спирту. Додавання детергентів у водно-спиртове середовище підвищує швидкість каталізованого розкладання метилфенілсульфіду за окислювальним механізмом майже в 10 разів у присутності катіонного цетилпіридиній хлориду та у 5 разів у присутності нейтрального 4-(1,1,3,3-тетраметилбутил)-фенілполіетиленгліколю та анінного додецилсульфату натрію. При цьому спостерігається прискорення нуклеофільного розкладання параоксону, що дозволяє констатувати про подвійну окислювально-нуклеофільну природу пероксокарбонат- та пероксоборат-аніонів. Продемонстровано високу реакційну здатність аніонів та окислювачів в мікроемulsіях, що разом зі значеннями констант зв'язування обох субстратів дозволяють розглядати мікроемulsійні середовища обраної рецептури як ефективні дегазатори та солюбілізатори гідрофобних отруйних речовин. Отримані результати дозволяють констатувати, що мікроемulsії, які містять пероксид водню, катіонний детергент та активатор можуть розглядатися як перспективні складові засобів деконтамінації для руйнування екотоксичних сполук за окислювально-нуклеофільним механізмом.

Наукова новизна. Розроблено рецептуру мікроемulsійного реакційного середовища з високими солюбілізувальними властивостями для одночасного нуклеофільного розкладання пероксид-аніоном параоксону та окиснення пероксидом водню метилфенілсульфіду з високими швидкостями.

Практична значимість. Досліджена мікроемulsія може бути використана як основа деконтамінаційних рецептур з усунення наслідків зараження компонентами хімічної зброї шкірно-нарівної та нервово-паралітичної дії.

Ключові слова: деконтамінаційна система; пероксид водню; параоксон; метилфенілсульфід; окиснення; нуклеофільне заміщення.

Вступ. З моменту першого застосування бойових отруйних речовин під час Першої світової війни дослідження ефективних шляхів дезактивації для негайного застосування, а також для знищення запасів хімічної зброї є актуальним та необхідним завданням сучасної науки з хімічної безпеки [1, 2]. Згідно з декларацією «Політика НАТО щодо хімічного, біологічного, радіологічного та ядерного захисту» [2] світ стикається з широким спектром хімічних загроз від традиційно прийнятих хімічних отруйних матеріалів до нервово-паралітичних речовин типу «Новачок», а також екотоксикантів з потенційним подвійним призначенням, які можуть бути застосовані в хімічній зброї [3, 4]. При вирішенні проблем, пов'язаних з процедурами знезараження отруйних речовин, особлива увага приділяється дегазації шкірних покривів людини та тварин, що потребує розробки швидкодіючих рецептур, м'яких за характером дії на організм людини та екологічно безпечних для довкілля [4, 5].

Методи знезараження компонентів хімічної зброї нервово-паралітичного типу (фосфорорганічні сполуки (ФОС) VX, GB, GD-типу) та шкірно-наривної дії (HD) є предметом сучасних наукових досліджень з проблем утилізації та деконтамінації бойових отруйних речовин [1, 5]. Традиційним шляхом розкладання ФОС є нуклеофільне заміщення біля електрофільного атому фосфору – гідроліз, пергідроліз, аміноліз, тощо [4, 6], окиснення гіпохлоритом натрію [7], алкохоліз моноетаноламіном чи бутилатом калію [8, 9], окислювально-нуклеофільне розкладання сумішшю гіпохлоритів та лугів [10].

В свою чергу, сірчаний іприт (HD), біс-(2-хлоретил)сульфід, є речовиною з тривалою хімічною стійкістю, що дуже ускладнює його дезактивацію [3, 11]. Для нейтралізації іприту та аналогів використовують нуклеофільне заміщення хлору із застосуванням амінів, алкоксидів, фенолатів [12], гідроліз, окиснення та дегідрогалогенування [13, 14]. Методи з використанням реакцій гідролізу мають значні обмеження через високу гідрофобність сірчастого іприту. Механізм деградації за допомогою дегідрогалогенування є недостатньо вивченим, а також малоефективним для реальних застосувань [12]. Поширеним методом розкладання іприту є окиснення [15, 16] пероксисульфатами, азотною кислотою, гіпохлоритом, пероксидами [12, 17]. Однак окислювальна деградація шкірно-наривних субстратів є доцільною при умові окиснення до відповідних сульфоксидів, бо подальше окиснення призводить до утворення сульфону, токсичність якого співмірна із отруйними властивостями вихідного сірчастого іприту [12, 19, 20].

Загальними недоліками наведених способів хімічної детоксикації сполук нервово-паралітичної та шкірно-наривної дії є, перш за все, токсичність та агресивність окислювально-нуклеофільних дезактиваторів, що унеможлиблює їх застосування в системах індивідуального хімічного захисту. Збільшити швидкість розкладання отруйних речовин шкірно-наривної та нервово-паралітичної дії можливо шляхом застосування α -нуклеофілів [21–23], типовим представником яких є пероксид аніон HO_2^- та його похідні – пероксоаніони, які є продуктом бікарбонатної чи боратної активації [4, 12, 19].

Пероксид водню є екологічно бездоганним, універсальним дезактивуєчим агентом, що передбачає одночасне розкладання речовин VX, GB, GD та HD: у вигляді нейтральної форми H_2O_2 проявляє окислювальну активність [12, 19, 20], а в лужних середовищах трансформується в пероксид аніон HO_2^- , що є потужним α -нуклеофілом [21, 22]. Пероксид водню є компонентом деконтамінаційних пакетів для хімічного захисту Deco Green, M291, DS2, DF-200 [24], якими оснащені військові та рятувальні команди НАТО. Ці засоби застосовуються протягом тривалого часу та зарекомендували себе як ефективні дегазатори за окислювально-нуклеофільним механізмом. Тим не менш, за даними дослідження [4] існуючі деконтамінаційні рішення потребують удосконалення, як з боку підвищення розчинення гідрофобних субстратів та швидкості їх розкладання, так і за напрямком зменшення екологічних ризиків, які можуть заподіяти складові деконтамінаційної системи.

Перспективним напрямом для рішення завдань дизайну екологічно чистих дегазаційних систем є використання окислювально-нуклеофільної здатності пероксиду водню в організованих водних нанорозмірних системах – міцелярних розчинах та мікроемульсіях [9, 12, 25, 26], де відбувається концентрування реагентів на межі поділу між міцелярною фазою (олійною краплею) та водою, а також створюються сприятливі умови для нуклеофільної атаки на електрофільні центри субстратів-екотоксикантів. Крім того, в мікроемульсіях типу «олія у воді» значно підвищується розчинність гідрофобних речовин без втрати розчинності гідрофільних дезактиваторів. Однак, суттєвим недоліком застосування мікроемульсій, як реакційного середовища, є значне зниження швидкості як нуклеофільних, так і окислювальних реакцій [25]. Тому розроблення технологічних рішень з підвищення ефективності розкладення сполук нервово-паралітичної дії та гірчичних агентів шкірно-нарівного спектру має бути спрямоване на пошук екологічно безпечних каталітичних систем швидкої деконтамінації з удосконаленими солубілізаційними властивостями.

Постановка завдання. Для підвищення екологічних властивостей деконтамінаційних систем без втрати їх реакційної та солубілізаційної здатності необхідні наукові дослідження з удосконалення засобів деконтамінації за такими напрямками: зменшення вражаючих факторів на здоров'я людини за рахунок використання сполук зеленої хімії; пошук екологічних реакційних середовищ для максимального розчинення гідрофобних субстратів та гідрофільних дезактиваторів; підвищення реакційної здатності м'яких окислювачів та нуклеофілів шляхом застосування каталітичних підходів для утворення пероксоаніонів.

Метою даного дослідження є вивчення кінетики нуклеофільного розкладання пероксид-аніоном (HO_2^-) 4-нітрофенілового естеру діетилфосфорної кислоти (параоксон, PO) та окиснення пероксидом водню метилфенілсульфіду (MPhS) в системах вода/спирт, вода/спирт/детергент та мікроемульсія типу «олія у воді» у присутності бікарбонату амонію (NH_4HCO_3) та борної кислоти $\text{B}(\text{OH})_3$.

Поставлена мета передбачає вирішення таких завдань:

- розробити склад мікроемульсії «олія у воді» з підвищеними показниками розчинності PO та MPhS;

- дослідити вплив NH_4HCO_3 і $\text{B}(\text{OH})_3$ на швидкість нуклеофільного розкладання PO та окиснення MPhS в системі пероксид водню/мікроемульсія.

Використання справжніх бойових отруйних речовин в звичайних хімічних лабораторіях пов'язане з високим ризиком, а також із заборобою роботи з ними. Тому параоксон і метилфенілсульфід використовуються дослідниками як імітатори бойових отруйних речовин для вивчення їх реакційної здатності в окислювально-нуклеофільних реакціях. Параоксон є аналогом пестицидів фосфорорганічної природи та отруйних речовин GB і VX-типу [25, 27], а метилфенілсульфід подібний до іприту за реакційною здатністю і гідрофобними властивостями [28, 29].

Матеріали і методи дослідження. Для проведення досліджень використовували реактиви без додаткового очищення: параоксон, метилфенілсульфід, додецилсульфат натрію (SDS), 4-(1,1,3,3-тетраметилбутил)-фенілполіетилєнглїколь (X-100), придбані в Sigma-Aldrich, Inc., Німеччина; цетилпіридиній хлорид (CPCl) виробництва Dishman Pharmaceuticals and Chemicals, Індія. Для приготування розчинів використовували високочисту воду 1 класу. Пероксид водню («чда») у вигляді 33% водного розчину попередньо переганяли в вакуумі (5 мм рт. ст.). Концентрацію H_2O_2 в розчинах контролювали перманганатометричним титруванням. Ізопропіловий спирт (iPrOH), етиленглїколь (EG), н-бутанол (BuOH) та гексан (Hex) очищували за загальноприйнятими методиками. Необхідне значення рН встановлювали при 25 °C додаванням малих кількостей концентрованих розчинів KOH або HCl [25].

Водно-спиртові розчини готували зливанням необхідних кількостей спирту та водного розчину реагентів з точно встановленими концентраціями та значеннями рН. Концентрацію реагентів у суміші розраховували на сумарну масу водно-спиртової суміші.

Суміші спирт/вода/детергент при різному співвідношенні реагентів готували шляхом змішування всіх компонентів до отримання прозорого розчину. Мікроемульсії (МЕ) готували змішуванням інгредієнтів у порядку: водний розчин реагентів заданої концентрації, детергент, спирт, органічний розчинник. Після змішування реагентів прозора МЕ утворюється при струшуванні суміші протягом не більше 1 хв. Водна фаза являла собою розчин КОН (для вивчення кінетики реакції лужного гідролізу) або розчин КОН і H_2O_2 (для вивчення кінетики реакцій лужного гідролізу, пергідролізу або окиснення) з точно встановленими концентраціями обох реагентів. Варіювання концентрації детергентів в реакційних розчинах проводили шляхом розведення вихідного розчину розчином, що містить компоненти, концентрація яких залишалася постійною в цій серії дослідів.

Пероксид-бікарбонатні та пероксид-боратні розчини витримували не менше 30 хв для встановлення рівноваги й накопичення пероксоаніонів. Концентраційні умови для кінетичного експерименту були такими: $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 1 \text{ М}$, $[\text{NH}_4\text{HCO}_3] = [(\text{B}(\text{OH})_3)] = 0,5 \text{ М}$. За зміни співвідношень пероксиду водню та активатору швидкість процесів нуклеофільного заміщення та окиснення теж буде змінюватися.

Склади досліджених реакційних середовищ – деконтамінаційних систем (DS) наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Склад реакційних середовищ (мас. %)

Назва	Вода	iPrOH	BuOH	EG	Hex	CPCl	X-100	SDS
-	100	-			-	-	-	-
Вода/спирт								
DS1	75	25	-	-	-	-	-	-
DS2	75	-	25	-	-	-	-	-
DS3	75	-	-	25	-	-	-	-
Вода/спирт/детергент								
DS4	70	25	-	-	-	5	-	-
DS5	70	25	-	-	-	-	5	-
DS6	70	25	-	-	-	-	-	5
Мікроемульсія								
DS7 [12]	88	5	-	-	2	5 ¹⁾	-	-
DS8	64	10	-	16	4	6	-	-
DS9	64	10	-	16	4	-	6	-
DS10	64	10	-	16	4	-	-	6

¹⁾ МЕ містить цетилтриметиламоній хлорид.

Визначення розчинності та констант зв'язування субстратів (PO та MPhS). В термостатовану при 25 °С пробірку поміщали 0,05 г PO чи 0,1 г MPhS та додавали 10 мл відповідного реакційного середовища (розчин 1). Суміш ретельно струшували та отримували непрозору рідину. Потім в суміш додавали розчин 1 у кількості 1 мл, та знову струшували. Додавання розчину 1 продовжували до отримання прозорої рідини, що фіксували як повне розчинення субстрату. Значення об'єму доданого розчину 1 використовували для визначення концентрації розчиненого субстрату у відповідному реакційному середовищі $[\text{S}]_m$, М. Розрахунок констант зв'язування субстратів проводили за формулою:

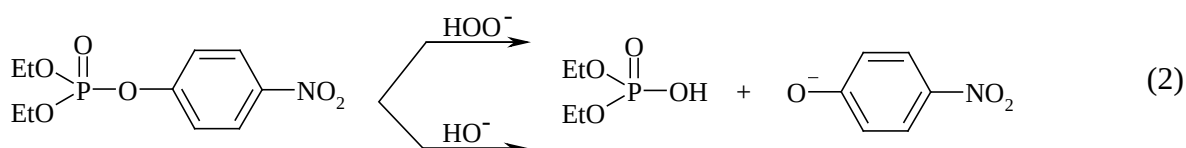
$$K_s = \frac{[S]_m}{[S]_w[D]}, \quad (1)$$

де $[S]_w$ (М) – розчинність (концентрація) субстрату у воді відповідно;
 $[D]$ (М) – концентрація детергенту у системі.

За даними PubChem розчинність РО у воді складає $1,3 \cdot 10^{-5}$ М, а розчинність MPhS – $4,0 \cdot 10^{-6}$ М.

Методика кінетичних вимірювань. Контроль за нуклеофільним заміщенням РО та окисненням MPhS здійснювали спектрофотометрично, як описано в роботах [25, 29].

Результати дослідження. Параоксон в розчині $H_2O_2-HO^-$ розкладається за двома напрямками – взаємодія з генерованим HOO^- аніоном ($H_2O_2 + HO^- \rightleftharpoons H_2O + HOO^-$) та лужний гідроліз HO^- аніоном:



Раніше було показано [25], що внесок гідролізу у присутності HOO^- аніону є мінімальним та не перевищує 1–5% від загальної швидкості витрачання субстрату. Величина K_a – константа іонізації пероксиду водню дорівнює $2,5 \cdot 10^{-12}$ М⁻¹, що передбачає накопичення аніону HOO^- у відчутних кількостях при значеннях рН > 10. Для визначення константи швидкості псевдопершого порядку розкладання параоксону k_{nu} (с⁻¹) в системі $H_2O_2-HO^-$ використовували рівняння:

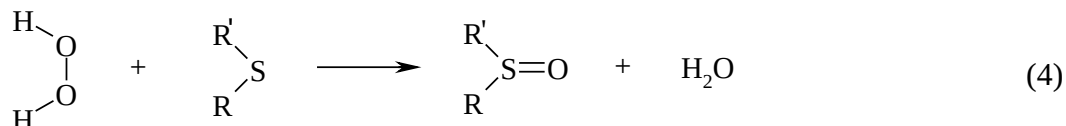
$$k_{nu} = k_{HOO}[HOO^-]_0 = k_{HOO} \frac{K'_a}{K'_a + a_{H^+}} [H_2O_2]_0, \quad (3)$$

де $[HOO^-]_0$ – концентрація гідропероксид-аніону в системі при початковій концентрації пероксиду водню $[H_2O_2]_0$;

k_{HOO} (М⁻¹с⁻¹) – константа швидкості другого порядку нуклеофільного заміщення в параоксоні;

K_a – константа кислотно-основної іонізації H_2O_2 .

Методом газової хроматографії [29] встановлено, що переважним продуктом окиснення MPhS в аналогічних умовах за час кінетичних вимірювань є метилфеніл-сульфоксид:



Рівняння для розрахунку спостережуваної константи швидкості k_o (с⁻¹) окиснення MPhS пероксидом водню для умов рН < 10 ($K_a \ll [H^+]$) має вигляд:

$$k_o = k_{H_2O_2} [H_2O_2]_0, \quad (5)$$

де $k_{H_2O_2}$ (М⁻¹·с⁻¹) – константа швидкості другого порядку окиснення MPhS нейтральною формою пероксиду водню;

$[H_2O_2]_0$ (М) – початкова концентрація H_2O_2 у реакційному середовищі.

В близьких до нейтральних умовах активація пероксиду водню гідрокарбонатним аніоном HCO_3^- в окисненні сульфідів перебігає через утворення у системі $\text{H}_2\text{O}_2/\text{NH}_4\text{HCO}_3^-$ пероксигідрокарбонат-аніону HCO_4^- , який наділено більш високою окислювальною здатністю порівняно з H_2O_2 . В системі $\text{H}_2\text{O}_2/\text{B}(\text{OH})_3$ в інтервалі рН 6–14 утворюються пероксоаніони: монопероксоборат – $\text{B}(\text{OH})_3(\text{OOH})^-$ та дипероксоборат – $\text{B}(\text{OH})_2(\text{OOH})_2^-$.

В табл. 2 представлені кінетичні дані з нуклеофільного заміщення у РО та окиснення MPhS в системах DS1-DS12, що містять $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HO}^-$ в присутності та відсутності активаторів. Константи швидкості другого порядку k_{HOO} та $k_{\text{H}_2\text{O}_2}$ є позірними величинами. Вони розраховані із рівн. (3) та (5), виходячи із загальних концентрацій HOO^- аніону та H_2O_2 , що знаходяться у системі в залежності від рН. При такому підході не враховується розподіл нуклеофілів між псевдофазами (у міцелі детергенту чи краплі «олії») та вклади маршрутів за участю утворених пероксоаніонів. Визначення константи зв'язування K_s (за рівн. 1) дозволяє оцінити солубілізаційні властивості середовища до гідрофобних субстратів, що досліджуються. У табл. 2 наведені також відносні величини I^{nu} та I^0 , що є відношенням k_{HOO} та $k_{\text{H}_2\text{O}_2}$ для всіх досліджених систем до відповідної константи швидкості у воді. Ці значення є мірою прискорення реакцій при переході від води до водно-спиртових та мікроемульсійних середовищ. В свою чергу множення $I = I^{\text{nu}} \cdot I^0$ можуть бути кількісною оцінкою ефективності універсальної системи при одночасному перебігу процесів окиснення MPhS та розкладання РО. Отримані результати (табл. 2), а також їх графічне відображення (рис. 1) дозволяють зробити деякі висновки щодо закономірностей впливу середовища на нуклеофільну та окислювальну реакційну здатність основних активних агентів: у відсутності (H_2O_2 , HOO^-) та у присутності (H_2O_2 , HOO^- , HCO_4^- , $\text{B}(\text{OH})_3(\text{OOH})^-$ та $\text{B}(\text{OH})_2(\text{OOH})_2^-$) активаторів, як для нуклеофільного розкладання РО, так і для окиснення MPhS.

Наведені у табл. 2 значення констант зв'язування субстратів K_s свідчать про високу солубілізаційну здатність розроблених мікроемульсій DS8-DS10 по відношенню до обох субстратів (РО та MPhS). Якщо порівнювати значення K_s в цих МЕ зі значенням K_s для класичної МЕ DS7 [25], то спостерігається зростання розчинності субстратів, що досліджуються, в 2-3 рази в залежності від використаного детергенту. Найбільша розчинність РО та MPhS спостерігається для МЕ DS10, яка містить додецилсульфат натрію.

Результати кінетичних вимірювань (k_{HOO} , $k_{\text{H}_2\text{O}_2}$), представлені у табл. 2, демонструють, що при перенесенні реакцій з води до водно-спиртового середовища швидкість нуклеофільного заміщення в РО та окиснення MPhS знижується, незалежно від обраного спирту. Відсутня у досліджених сумішах вода/спирт й висока реакційна здатність пероксоаніонів по відношенню до РО.

На відміну від прискорень у воді, які спостерігаються у присутності NH_4HCO_3 (в 2 рази) чи $\text{B}(\text{OH})_3$ (в 3 рази), у водно-спиртових середовищах спостерігаються незначні коливання значень k_{HOO} каталізованих процесів (DS1–DS3, табл. 2), які відрізняються від відповідної константи некаталізованого нуклеофільного заміщення не більше, чим на третину. У разі окиснення MPhS ситуація дещо змінюється (DS1–DS3, табл. 2). Прискорення реакцій у воді у 4 рази (NH_4HCO_3) та у 8 разів ($\text{B}(\text{OH})_3$), а у сумішах вода/спирт приблизно у 2 рази (NH_4HCO_3) та у 3 рази ($\text{B}(\text{OH})_3$) є доказом участі утворених пероксианіонів HCO_4^- , $\text{B}(\text{OH})_3(\text{OOH})^-$ та $\text{B}(\text{OH})_2(\text{OOH})_2^-$ в окисненні MPhS.

Таблиця 2

Кінетичні параметри нуклеофільного заміщення в РО та окиснення МPhS

Назва	Активатор	Нуклеофільне заміщення		Окиснення		I	K _s , М ⁻¹	
		k _{HOO} 10 ² , М ⁻¹	I _{nu}	k _{H₂O₂} 10 ⁴ , М ⁻¹	I ^o		PO	MPhS
Вода	-	55,3	1,0	22,3	1,0	1,0	-	-
	NH ₄ HCO ₃	102	1,8	96,1	4,3	7,7	-	-
	B(OH) ₃	174	3,1	179	8	24,8	-	-
Вода/спирт								
DS1	-	50,1	0,9	17,2	0,8	0,7	-	-
	NH ₄ HCO ₃	48,4	0,9	23,6	1,1	1,0	-	-
	B(OH) ₃	66,4	1,2	36,2	1,6	1,9	-	-
DS2	-	40,3	0,7	4,62	0,2	0,1	-	-
	NH ₄ HCO ₃	38	0,7	24,1	1,1	0,8	-	-
	B(OH) ₃	59,1	1,1	29,9	1,3	1,4	-	-
DS3	-	35,6	0,6	13,6	0,6	0,4	-	-
	NH ₄ HCO ₃	40,1	0,7	48,1	2,2	1,5	-	-
	B(OH) ₃	50,7	0,9	59,3	2,7	2,4	-	-
Вода/спирт/детергент								
DS4	-	30,5	0,6	12,1	0,5	0,3	50	200
	NH ₄ HCO ₃	240	4,3	92,6	4,2	18,1	70	150
	B(OH) ₃	402	7,3	101	4,5	32,9	90	200
DS5	-	53,6	1	17,1	0,8	0,8	100	220
	NH ₄ HCO ₃	181	3,3	76,5	3,4	11,2	120	200
	B(OH) ₃	356	6,4	68,4	3,1	19,8	100	210
DS6	-	42,1	0,8	14,2	0,6	0,5	50	150
	NH ₄ HCO ₃	170	3,1	58,4	2,6	8,1	70	180
	B(OH) ₃	276	5	67,2	3	15	50	200
Мікроемульсія								
DS7 [25]	-	74,1	1,3	47,2	2,1	2,7	250	300
	NH ₄ HCO ₃	31,2	0,6	62,3	2,8	1,7	270	340
	B(OH) ₃	2,01	0	46,8	2,1	0,8	300	320
DS8	-	143	2,6	48,1	2,2	5,7	570	650
	NH ₄ HCO ₃	136	2,5	234	10,5	26,3	650	730
	B(OH) ₃	204	3,7	225	10,1	37,4	700	750
DS9	-	119	2,2	37,4	1,7	3,7	720	930
	NH ₄ HCO ₃	203	3,7	201	9	33,3	820	950
	B(OH) ₃	227	4,1	196	8,9	36,5	900	920
DS10	-	76,3	1,4	30,0	1,3	1,8	950	1100
	NH ₄ HCO ₃	140	2,5	197	8,8	22,0	950	1000
	B(OH) ₃	191	3,5	208	9,3	32,6	900	1050

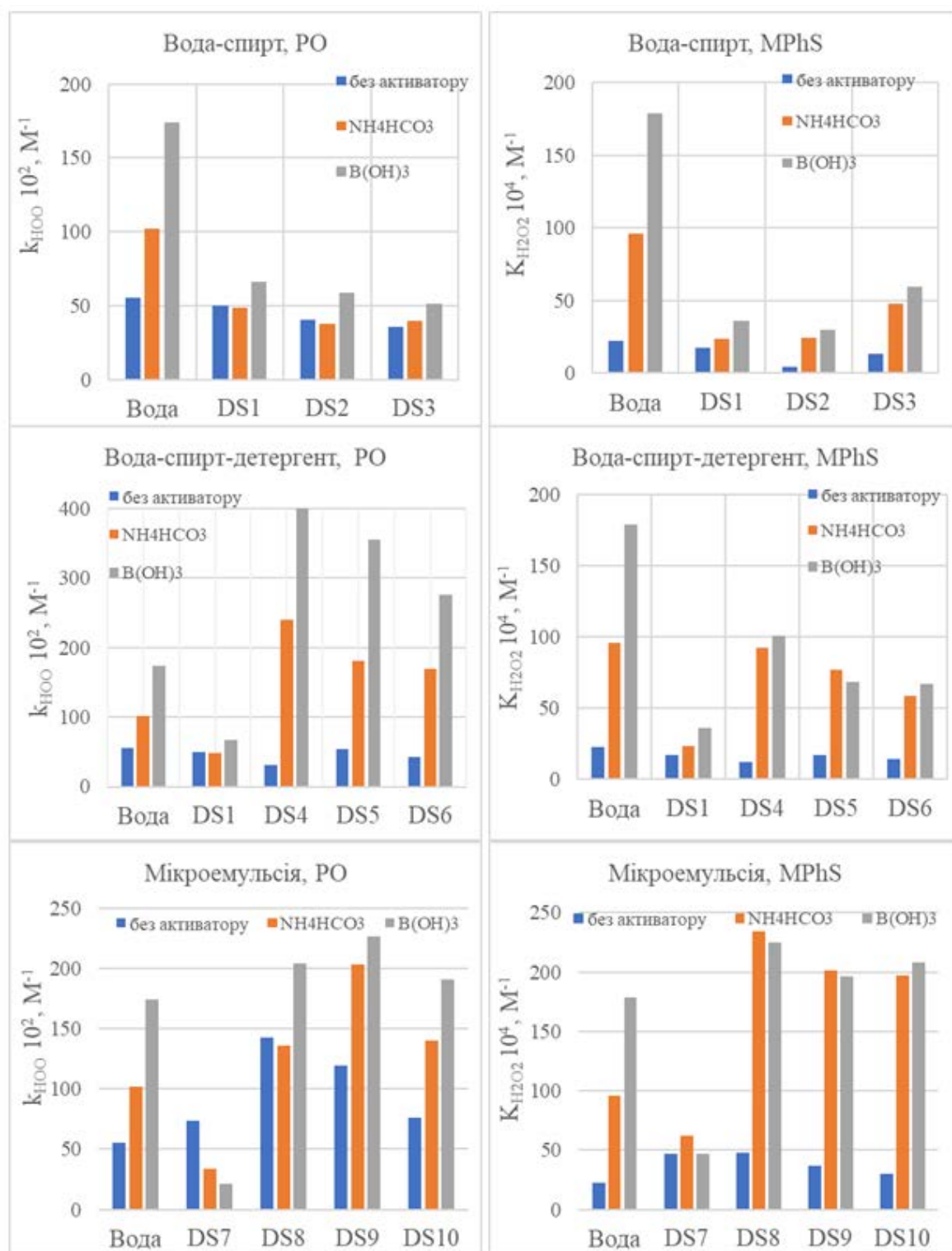


Рис. 1. Значення констант швидкості другого порядку k_{HOO} та k_{H2O2} у різних реакційних середовищах: склад DS відповідає табл. 1 та табл. 2

Додавання детергентів у водно-спиртове середовище підвищує швидкість каталізованого розкладання MPhS за окислювальним механізмом майже в 10 разів у присутності катіонного CPCl та у 5 разів у присутності нейтрального X-100 і анінного SDS (DS4–DS6, табл. 2). Дещо неочікуваними є результати з нуклеофільного розкладання PO у цьому ж середовищі у присутності активаторів (DS4–DS6, табл. 2). Єдиним поясненням

прискорення активованого нуклеофільного процесу, є проява нуклеофільної здатності пероксианіонів, що дозволяє констатувати подвійну окислювально-нуклеофільну природу пероксикарбонат- та пероксоборат-аніонів. Цей факт створює додаткові пріоритети (крім економічних та екологічних) для використання бікарбонатного та боратного каталізу при конструюванні універсальних систем деконтамінації.

Якщо порівнювати системи вода/спирт та вода/спирт/детергент, то однозначно слід відкинути водно-спиртові суміші, як основу деконтамінаційних систем універсальної дії. З іншого боку порівняння реакційної здатності аніонів та окислювачів в детергентних водно-спиртових сумішах з аналогічними характеристиками мікроемульсій свідчить про більшу дегазаційну здатність останніх. При цьому слід приймати до уваги й визначені константи зв'язування обох субстратів K_s (табл. 2), які мають максимальні значення в мікроемульсіях DS8–DS10. Цей факт має одне з вирішальних значень при виборі деконтамінаційної системи, бо, як правило, бойові отруйні речовини є сполуками підвищеної гідрофобності, що практично не розчиняються у водних розчинах. Так, наприклад, для підвищення стійкості до хімічної дезактивації іприт часто згущують шляхом домішки 5–10% полімерного загусника, що значно обмежує можливість деконтамінації водними розчинами. Крім того, вагомим аргументом на користь проведення реакції окиснення аналогів іприту в МЕ є наукові докази про переважне утворення саме у мікроемульсійному середовищі нетоксичного продукту реакції – сульфоксиду [14, 19]. Подальше окиснення сульфоксиду в токсичний сульфон обмежене через структурну організацію реакційного середовища, завдяки якій більш гідрофільний сульфоксид транспортується у безперервну водну фазу, чим і запобігається його перетворення до сульфону.

За отриманими значеннями кінетичних параметрів розкладання PO та MPhS (значення I, табл. 2, рис. 1) вибудовується рейтинг ефективних деконтамінаційних систем у напрямку зменшення універсальної окислювально-нуклеофільної ефективності: $DS9 \geq DS8 > DS10 > DS4 > DS5$. Саме ці системи забезпечують одночасну реалізацію нуклеофільного заміщення PO та окиснення MPhS з помітними швидкостями, особливо у присутності активаторів NH_4HCO_3 чи $B(OH)_3$. Оскільки не спостерігається критична різниця окислювально-нуклеофільної активності аніонів HCO_4^- , $B(OH)_3(OOH)^-$ та $B(OH)_2(OOH)_2^-$, то слід віддати перевагу бікарбонат-каталізованим системам. Окрім економічних та екологічних переваг, NH_4HCO_3 є більш розчинною речовиною у воді (9,59 г/100 г води), аніж $B(OH)_3$ (2,66 г/100 г води), що значно спрощує приготування деконтамінаційних розчинів у польових умовах.

Проведені експериментальні дослідження з визначення розчинності та реакційної здатності імітаторів бойових отруйних речовин в мікроемульсії складу водна фаза (80%), спирт (10%), органічний розчинник (4%), детергент (6%) дозволяють визначити переваги розробленої системи деконтамінації в порівнянні з відомими міцелярними та мікроемульсійними розчинами [4, 24, 25]: збільшення розчинності субстратів PO та MPhS у 2–3 рази; універсальний характер обраної системи деконтамінації до сполук VX, GB, GD-типу, (нуклеофільний механізм) та до субстратів HD (окислювальний механізм); висока швидкість каталізованого розкладання PO пероксид-аніоном HO_2^- ($\tau_{1/2} < 10$ с) та окиснення MPhS пероксоаніонами HCO_4^- , $B(OH)_3(OOH)^-$ та $B(OH)_2(OOH)_2^-$ ($\tau_{1/2} < 35$ с) залежно від природи детергентної складової мікроемульсії; застосування в рецептурі деконтамінаційної системи речовин з класом небезпеки не нижче 3-ого; відсутність особливих умов зберігання та застосування.

Отримані результати демонструють, що мікроемульсії, які містять пероксид водню, катіонний детергент та активатор, забезпечують високий рівень солюбілізації субстратів – імітаторів бойових отруйних речовин, підвищують реакційну здатність окислювачів і нуклеофілів (в порівнянні з водними розчинами), прості в приготуванні та екологічні. Перелічені обставини дають підстави розглядати ці середовища як перспективні складові при

конструюванні деконтамінаційних засобів для руйнування екотоксичних сполук за окислювально-нуклеофільним механізмом.

Висновки. Визначено кінетичні параметри нуклеофільного розкладання пероксид-аніоном параоксону та окиснення пероксидом водню метилфенілсульфіду в мікроемульсії типу «олія у воді» у присутності бікарбонату амонію та борної кислоти.

Досліджено вплив водно-спиртових розчинів та мікроемульсій на солюбілізацію субстратів у присутності детергентів різної природи: катіонного цетилпіридиній хлориду, нейтрального 4-(1,1,3,3-тетраметилбутил)-фенілполіетилєнґліколю та анінного додецилсульфату натрію. Встановлено, що в мікроемульсії складу водна фаза/спирт/гексан/детергент константа зв'язування субстратів підвищується в 3–5 разів в порівнянні з аналогічною величиною у водно-спиртових детергентних та міцелярних розчинах.

Показано, що додавання детергентів у реакційне середовище підвищує швидкість каталізованого розкладання метилфенілсульфіду за окислювальним механізмом майже в 10 разів у присутності цетилпіридиній хлориду та у 5 разів у присутності 4-(1,1,3,3-тетраметилбутил)-фенілполіетилєнґліколю чи додецилсульфату натрію.

Продемонстровано високу реакційну здатність аніонів HCO_4^- , $\text{B(OH)}_3(\text{OON})^-$ та $\text{B(OH)}_2(\text{OON})_2^-$ в окислювально-нуклеофільних процесах, що перебігають у запропонованих мікроемульсіях: в залежності від природи детергенту прискорення активованих реакцій складають 30–40 разів.

Отримані результати зі швидкості деконтамінації та характеристики розчинності параоксону та метилфенілсульфіду дозволяють рекомендувати досліджені мікроемульсії як перспективні реакційні середовища для розробки деконтамінаційних рецептур з усунення наслідків зараження компонентами хімічної зброї шкірно-наривної та нервово-паралітичної дії.

References

Література

1. Weetman, C., Notman, S., Arnold, P. L. (2018). Destruction of chemical warfare agent simulants by air and moisture stable metal NHC complexes. *Dalton Trans.*, 47(8), 2568–2574.
2. NATO's Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Defence Policy. 14 Jun. 2022. URL: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_197768.htm?selectedLocale=en.
3. Nawała, J., Jóźwik, P., Popiel, S. (2019). Thermal and catalytic methods used for destruction of chemical warfare agents. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 16(7), 3899–3912.
4. Vakhitova, L., Bessarabov, V., Taran, N., Kuzmina, G., Deryapa, V., Zagoriy, G. et al. (2019). Development of chemical methods for individual decontamination of organophosphorus compounds. *East-Eur. J. Enter. Technol.*, 2(6), 6–14.
5. Ranjan, A., Jindal, T. (2023). Toxicology of Organophosphate Poisoning. Springer Cham.: Switzerland AG. 104 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-79128-5>.
6. Zammataro, A., Santonocito, R., Pappalardo, A., Trusso Sfrazzetto, G. (2020). Catalytic Degradation of Nerve Agents. *Catalysts*, 10(8), 881.
7. Affam, A. C., Chaudhuri, M., Kutty, S. R. M. (2012). Fenton Treatment of Chlorpyrifos,
1. Weetman C., Notman S., Arnold P. L. Destruction of chemical warfare agent simulants by air and moisture stable metal NHC complexes. *Dalton Trans.* 2018. Vol. 47. P. 2568-2574.
2. NATO's Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Defence Policy. 14 Jun. 2022. URL: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_197768.htm?selectedLocale=en.
3. Nawała J., Jóźwik P., Popiel S. Thermal and catalytic methods used for destruction of chemical warfare agents. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2019. Vol. 16(7). P. 3899–3912.
4. Vakhitova L., Bessarabov V., Taran N., Kuzmina G., Deryapa V., Zagoriy G. et al. Development of chemical methods for individual decontamination of organophosphorus compounds. *East-Eur. J. Enter. Technol.* 2019. Vol. 2(6). P. 6–14.
5. Ranjan A., Jindal T. Toxicology of Organophosphate Poisoning. 2023. Springer Cham.: Switzerland AG. 104 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-79128-5>.
6. Zammataro A., Santonocito R., Pappalardo A., Trusso Sfrazzetto G. Catalytic Degradation of Nerve Agents. *Catalysts*. 2020. Vol. 10(8). 881.
7. Affam A. C., Chaudhuri M., Kutty S. R. M. Fenton Treatment of Chlorpyrifos, Cypermethrin and

- Cypermethrin and Chlorothalonil Pesticides in Aqueous Solution. *Journal of Environmental Science and Technology*, 5(6), 407–418.
8. Sahu, C., Das, A.K. (2017). Solvolysis of organophosphorus pesticide parathion with simple and α nucleophiles: a theoretical study. *Journal of Chemical Science*, 129(8), 1301–1317.
9. Singh, B., Prasad, G., Pandey, K., Danikhel, R., Vijayaraghavan, R. (2010). Decontamination of Chemical Warfare Agents. *Defence Science Journal*, 60 (4), 428–441.
10. Poirier, L., Jacquet, P., Elias, M. et al. (2017). Decontamination of organophosphorus compounds: towards new alternatives. *Annales Pharmaceutiques Francaises*, 75 (3), 209–226.
11. Eubanks, L. M., Dickerson, T. J., Janda, K. D. (2007). Technological advancements for the detection of and protection against biological and chemical warfare agents. *Chem. Soc. Rev.*, 36(3), 458–470.
12. Oheix, E., Gravel, E., Doris, E. (2020). Catalytic Processes for the Neutralization of Sulfur Mustard. *Chem. Eur. J.*, 27(1), 54–68.
13. Jabbour, C. R., Parker, L. A., Hutter, E. M. et al. (2021). Chemical targets to deactivate biological and chemical toxins using surfaces and fabrics. *Nat. Rev. Chem.*, 5, 370–387.
14. Giannakoudakis, D. A., Bandosz, T. J. (2018). Detoxification of Chemical Warfare Agents. From WWI to Multifunctional Nanocomposites Approaches. 1st ed. Springer International Publishing. 150 p.
15. Ayoub, G., Arhangelskis, M., Zhang, X., Son, F., Islamoglu, T., Frišćić, T., Farha, O. K. (2019). Air oxidation of sulfur mustard gas simulants using a pyrene-based metal–organic framework photocatalyst. *Beilstein J. Nanotechnol.*, 10, 2422–2427.
16. Haddad, R. (2022). Highly Reactive Heterogeneous Nanofibers Catalyst based on [Mo₁₅₄] Clusters for Green Aerobic Oxidation of Sulfur Mustard Analogues under Ambient Conditions. *Curr. Org. Synth.*, 19(7), 808–818.
17. Ramakrishna, C., Krishna, R., Saini, B., Gopi, T., Swetha, G., Chandra Shekar, S. (2016). A simple and controlled oxidative decontamination of sulfur mustard and its simulants using ozone gas. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 191(7), 965–970.
18. He, Q., Song, J., Li, H., Zhao, B., Zhang, Y., Wang, N., Zhong, W. (2021). Chloroperoxidase-catalyzed oxidative degradation of sulfur mustard. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112715.
- Chlorothalonil Pesticides in Aqueous Solution. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2012. Vol. 5(6). P. 407–418.
8. Sahu C., Das A. K. Solvolysis of organophosphorus pesticide parathion with simple and α nucleophiles: a theoretical study. *Journal of Chemical Sciences*. 2017. Vol. 129(8). P. 1301–1317.
9. Singh B., Prasad G., Pandey K., Danikhel R., Vijayaraghavan R. (2010). Decontamination of Chemical Warfare Agents. *Defence Science Journal*. 2010. Vol. 60(4). P. 428–441.
10. Poirier L., Jacquet P., Elias M. et al. Decontamination of organophosphorus compounds: towards new alternatives. *Annales Pharmaceutiques Francaises*. 2017. Vol. 75(3). P. 209–226.
11. Eubanks L. M., Dickerson T. J., Janda K. D. Technological advancements for the detection of and protection against biological and chemical warfare agents. *Chem. Soc. Rev.* 2007. Vol. 36(3), P.458–470.
12. Oheix E., Gravel E., Doris E. Catalytic Processes for the Neutralization of Sulfur Mustard. *Chem. Eur. J.* 2020. Vol. 27(1). P.54–68.
13. Jabbour C. R., Parker L. A., Hutter E. M. et al. Chemical targets to deactivate biological and chemical toxins using surfaces and fabrics. *Nat. Rev. Chem.* 2021. № 5. P. 370–387.
14. Giannakoudakis D. A., Bandosz T. J. Detoxification of Chemical Warfare Agents. From WWI to Multifunctional Nanocomposites Approaches, 1st ed. Springer International Publishing, 2018. 150 p.
15. Ayoub G., Arhangelskis M., Zhang X., Son F., Islamoglu T., Frišćić T., Farha O. K. Air oxidation of sulfur mustard gas simulants using a pyrene-based metal–organic framework photocatalyst. *Beilstein J. Nanotechnol.* 2019. Vol. 10. P. 2422–2427.
16. Haddad R. Highly Reactive Heterogeneous Nanofibers Catalyst based on [Mo₁₅₄] Clusters for Green Aerobic Oxidation of Sulfur Mustard Analogues under Ambient Conditions. *Curr. Org. Synth.* 2022. Vol. 19(7). P. 808–818.
17. Ramakrishna C., Krishna R., Saini B., Gopi T., Swetha G., Chandra Shekar S. A simple and controlled oxidative decontamination of sulfur mustard and its simulants using ozone gas. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*. 2016. Vol. 191(7). P. 965–970.
18. He Q., Song J., Li H., Zhao B., Zhang Y., Wang N., Zhong W. Chloroperoxidase-catalyzed oxidative degradation of sulfur mustard. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 225. 112715.

19. Zhao, S., Xi, H., Zuo, Y., Wang, Q., Wang, Z., Yan, Z. (2018). Bicarbonate-activated hydrogen peroxide and efficient decontamination of toxic sulfur mustard and nerve gas simulants. *J. Hazard. Mater.*, 344, 136–145.
20. Zhao, S., Zhu, Y., Xi, H., Han, M., Li, D., Li, Y., Zhao, H. (2020). Detoxification of mustard gas, nerve agents and simulants by peroxomolybdate in aqueous H_2O_2 solution: Reactive oxygen species and mechanisms. *J. Environ. Chem. Eng.*, 104221.
21. Vakhitova, L., Bessarabov, V., Taran, N. et al. (2017). Decontamination of methylparathion in activated nucleophilic systems based on carbamide peroxisolvate. *East-Eur. J. Enter. Technol.*, 6 (10), 31–37.
22. Bessarabov, V., Vakhitova, L., Kuzmina, G., Zagoriy, G., Baula, O. (2017). Development of micellar system for the decontamination of organophosphorus compounds to clean technological equipment. *East-Eur. J. Enter. Technol.*, 1(6), 42–49.
23. Han, X., Balakrishnan, V. K., van Loon, G. W., Buncel, E. (2006). Degradation of the Pesticide Fenitrothion as Mediated by Cationic Surfactants and α -Nucleophilic Reagents. *Langmuir*, 22(21), 9009–9017.
24. Wagner, G. W., Yang, Y.-C. (2002). Rapid Nucleophilic/Oxidative Decontamination of Chemical Warfare Agents. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 1(8), 1925–1928.
25. Vakhitova, L. N., Matvienko, K. V., Taran, N. A., Lakhtarenko, N. V., Popov, A. F. (2011). Nucleophilic oxidizing systems based on hydrogen peroxide for decomposition of ecotoxics. *Russ. J. Org. Chem.*, 47(7), 965–973.
26. Cabal, J. (2011). Primary Decontamination of Persons. In: *Chemical Weapons and Protection Against Them*, ed. Pitschmann V. Manus: Prague, Czech Republic, P. 162–170.
27. Capoun, T., Krykorkova, J. (2014). Comparison of Selected Methods for Individual Decontamination of Chemical Warfare Agents. *Toxics.*, 2, 307–326.
28. Fakhraian, H., Valizadeh, F. (2010). Activation of hydrogen peroxide via bicarbonate, sulfate, phosphate and urea in the oxidation of methyl phenyl sulfide. *J. Mol. Catal. A Chem.*, 333(1-2), 69–72.
29. Vakhitova, L. N., Lakhtarenko, N. V., Popov, A. F. (2015). Kinetics of the Oxidation of Methyl Phenyl Sulfide by Peroxoborate Anions. *Theor. Exp. Chem.*, 51(5), 307–313.
19. Zhao S., Xi H., Zuo Y., Wang Q., Wang Z., Yan Z. Bicarbonate-activated hydrogen peroxide and efficient decontamination of toxic sulfur mustard and nerve gas simulants. *J. Hazard. Mater.* 2018. Vol. 344. P. 136–145.
20. Zhao S., Zhu Y., Xi H., Han M., Li D., Li Y., Zhao H. Detoxification of mustard gas, nerve agents and simulants by peroxomolybdate in aqueous H_2O_2 solution: Reactive oxygen species and mechanisms. *J. Environ. Chem. Eng.* 2020. 104221.
21. Vakhitova L., Bessarabov V., Taran N. et al. Decontamination of methylparathion in activated nucleophilic systems based on carbamide peroxisolvate. *East-Eur. J. Enter. Technol.* 2017. Vol. 6 (10). P. 31–37.
22. Bessarabov V., Vakhitova, L., Kuzmina G., Zagoriy G., Baula O. Development of micellar system for the decontamination of organophosphorus compounds to clean technological equipment *East-Eur. J. Enter. Technol.* 2017. Vol. 1, Issue 6 (85). P. 42–49.
23. Han, X., Balakrishnan, V. K., van Loon, G. W., Buncel, E. Degradation of the Pesticide Fenitrothion as Mediated by Cationic Surfactants and α -Nucleophilic Reagents. *Langmuir*. 2006. Vol. 22(21). P. 9009–9017.
24. Wagner G. W., Yang Y.-C. Rapid Nucleophilic/Oxidative Decontamination of Chemical Warfare Agents. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2002. Vol. 1(8). P. 1925–1928.
25. Vakhitova L. N., Matvienko K. V., Taran N. A., Lakhtarenko N. V., Popov A. F. Nucleophilic oxidizing systems based on hydrogen peroxide for decomposition of ecotoxics. *Russ. J. Org. Chem.* 2011. Vol. 47(7). P. 965–973.
26. Cabal J. Primary Decontamination of Persons. In: *Chemical Weapons and Protection Against Them*, ed. Pitschmann V. Manus: Prague, Czech Republic, 2011. P. 162–170.
27. Capoun T., Krykorkova J. Comparison of Selected Methods for Individual Decontamination of Chemical Warfare Agents. *Toxics.* 2014. Vol. 2. P. 307–326.
28. Fakhraian H., Valizadeh F. Activation of hydrogen peroxide via bicarbonate, sulfate, phosphate and urea in the oxidation of methyl phenyl sulfide. *J. Mol. Catal. A Chem.* 2010. Vol. 333(1-2). P. 69–72.
29. Vakhitova L. N., Lakhtarenko N. V., Popov A. F. Kinetics of the Oxidation of Methyl Phenyl Sulfide by Peroxoborate Anions. *Theor. Exp. Chem.* 2015. Vol. 51(5). P. 307–313.

VAKHITOVA LIUBOV

Candidate of Chemical Sciences, Senior researcher
Department of Nucleophilic Reactions Research,
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and
Coal Chemistry of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-1923-7895>
Scopus Author ID: 8443383300
Researcher ID: J-9402-2016;
E-mail: L.M.Vakhitova@nas.gov.ua

KOROTKIKH MYKOLA

Doctor of Chemical Sciences, Professor,
Department of Chemistry of Heterocyclic Compounds,
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and
Coal Chemistry of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-0774-6588>
Scopus Author ID: 56072453300
Researcher ID: X-7107-2018
E-mail: M.I.Korotkikh@nas.gov.ua

BESSARABOV VOLODYMYR

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Nucleophilic Reactions Research,
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and
Coal Chemistry of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National
University of Technologies and Design, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-0637-1729>
Scopus Author ID: 36917184700
Researcher ID: D-3425-2017
E-mail: v.bessarabov@kyivpharma.eu

TARAN NADIYA

Candidate of Chemical Sciences, Senior researcher
Department of Nucleophilic Reactions Research,
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and
Coal Chemistry of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-1043-5596>
Scopus Author ID: 15119449100
E-mail: N.A.Taran@nas.gov.ua

VAKHITOV RAMIL

Postgraduate, Department of Applied Ecology,
Technology of Polymers and Chemical Fibers,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-9657-5743>
Researcher ID: rid30607
E-mail: vahitov89@gmail.com

POPOV ANATOLIY

Doctor of Chemical Science, Academician
of NAS of Ukraine, Department of Nucleophilic
Reactions Research, L. M. Litvinenko Institute of
Physical-Organic and Coal Chemistry of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-5867-0598>
Scopus Author ID: 7402985501
E-mail: office.ipocc@nas.gov.ua

¹VAKHITOVA L. M., ¹TARAN N. A., ¹KOROTKIKH M. I.,
²VAKHITOV R. A., ^{1,2}BESSARABOV V. I., ¹POPOV A. F.

¹ L.M. Litvinenko Institute of Physical and Organic Chemistry and Coal Chemistry
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**OXIDATIVE-NUCLEOPHILIC SYSTEMS FOR
DECOMPOSITION OF TOXIC SUBSTANCES**

Purpose. To investigate the kinetics of nucleophilic decomposition of paraoxone by peroxide anion and oxidation of methylphenyl sulfide by hydrogen peroxide in water/alcohol, water/alcohol/detergent and “oil-in-water” microemulsions in the presence of ammonium bicarbonate and boric acid.

Methodology. The reactions of nucleophilic substitution of paraoxone and oxidation of methylphenyl sulfide with hydrogen peroxide in nanoscale aqueous-organic systems (water-alcohol, water-alcohol-detergent, “oil-in-water” microemulsion) were chosen as model systems. Paraaxon and methylphenyl sulfide are used as imitators of warfare agents with nerve and blistering effects. Three types of detergents were used to form detergent mixtures and microemulsions: cationic – cetylpyridinium chloride, anionic – sodium dodecyl sulfate, and neutral – 4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)-phenylpolyethylene glycol. Ammonium bicarbonate and boric acid were used as activators. The nucleophilic substitution of paraoxone was monitored spectrophotometrically at $\lambda = 405$ nm by the change in the absorbance of 4-nitrophenolate ion over time in the concentration conditions $[HOO^-] \gg [paraoxone]$. Oxidation was monitored by the decrease in methylphenyl sulfide absorbance over time at $\lambda = 250$ nm. under the condition $[H_2O_2] \gg [methylphenyl sulfide]$.

Findings. The kinetic parameters of the nucleophilic decomposition of paraoxone by hydrogen peroxide anion and the activated oxidation of methylphenyl sulfide by hydrogen peroxide in an “oil-in-water” microemulsion in the presence of ammonium bicarbonate and boric acid have been determined. It was found that in the microemulsion of water:ethylene glycol (4:1)/alcohol/hexane/detergent composition, the substrate binding constant increases 3–5 times compared to the same value in water-alcohol detergent and micellar solutions. The reactivity of hydrogen peroxide as an oxidant in its neutral form and as a nucleophilic reagent in the form of peroxide anion in the presence and absence of ammonium hydrogen carbonate and boric acid was compared. It was found that the rate of nucleophilic substitution in paraoxone and oxidation of methylphenyl sulfide decreases in an aqueous-alcohol medium, regardless of the alcohol chosen. The addition of detergents to the water-alcohol medium increases the rate of catalysed decomposition of methylphenyl sulfide by oxidative mechanisms by almost 10 times in the presence of cationic cetylpyridinium chloride and 5 times in the presence of neutral 4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)-phenylpolyethylene glycol and anine sodium dodecyl sulfate. At the same time, the acceleration of nucleophilic decomposition of paraoxone was observed, which suggests the dual oxidative-nucleophilic nature of peroxy carbonate and peroxy borate anions. The high reactivity of anions and oxidants in microemulsions has been demonstrated, which, together with the values of the binding constants of both substrates, allows us to consider microemulsion media of the selected formulation as effective degassers and solubilisers of hydrophobic poisonous substances. The results obtained allow us to state that microemulsions containing hydrogen peroxide, cationic detergent and activator can be considered as promising components of decontamination agents for the destruction of ecotoxic compounds by the oxidative-nucleophilic mechanism. The results obtained allow us to state that microemulsions containing hydrogen peroxide, cationic detergent and activator can be considered as promising components of decontamination agents for the destruction of ecotoxic compounds by the oxidative-nucleophilic mechanism.

Originality. The formulation of a microemulsion reaction medium with high solubilizing properties was developed for the simultaneous nucleophilic decomposition of paraoxon by peroxide anion and oxidation of methylphenyl sulfid by hydrogen peroxide at high rates.

Practical value. The investigated microemulsion can be used as a basis for decontamination formulations to remediate the effects of contamination with chemical weapons components of blistering and nerve effects.

Keywords: decontamination system; hydrogen peroxide; paraoxone; methylphenyl sulfide; oxidation; nucleophilic substitution.

ЗАПРОШУЄМО ДО СПІВРОБІТНИЦТВА

Київський національний університет технологій та дизайну з 19.04.2021 р. видає періодичне наукове видання «Технології та інжиніринг», яке є правонаступником видання «Вісник Київського національного університету технологій та дизайну», який у свою чергу був правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР).

Програмні цілі журналу «Технології та інжиніринг»: публікація оригінальних статей, висвітлення результатів новітніх досліджень та актуальних досягнень у галузі технічних наук.

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України. Наказ МОН України від 29.06.2021 №735 (додаток 3). Категорія Б. Технічні науки. Спеціальності: 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (2018, 2020).

Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»:

- **ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА, МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ.**
- **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ.**
- **ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ.**

Періодичність видання – 6 раз на рік. Журнал видається українською, англійською мовами, анотації – українською і англійською мовами. Матеріали, що надходять для публікації в журналі, проходять рецензування з боку членів редакційної колегії, розглядаються та рекомендуються Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну до друку.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: 01011, м. Київ-11, вул. Мала Шияновська, 2,
корп. №1, кім. 1-0347, (044) 256-21-39

Статті приймаються на поштову скриньку: vistnuk@knutd.edu.ua.

Банківські реквізити видання «Технології та інжиніринг» для перерахування оплати за публікацію наукової статті (вартість 1 стор. формату А4 коштує 60 грн):

Одержувач: Київський національний університет технологій та дизайну

Код ЄДРПОУ отримувача: 02070890

Банк отримувача: ДКСУ у м. Києві

Код банку отримувача: 820172

Розрахунковий рахунок: **UA038201720313251003202003551**

Призначення платежу: П.І.Б. (автора (-ів) публікації) – Технічні науки.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

Комп'ютерний набір та макетування

КРИВОНОС Олена

Технічний редактор

ПАНАСЮК Ігор

Відповідальний за поліграфічне виконання

ОВЕЧКІНА Лілія

Підп. до друку 26.04.2023. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 11,62. Облік. вид. арк. 9,10. Наклад 100 пр. Зам. ____.

Видавець і виготовлювач Київський національний університет технологій та дизайну.
вул. Мала Шияновська, 2, м. Київ, 01011, Україна.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія KB №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 993 від 24.07.2002.

TECHNOLOGIES AND ENGINEERING

Computer Typesetting & Modeling

KRYVONOS Olena

Technical Editor

PANASIUK Ihor

Responsible for printing

OVECHKINA Liliia

Printing proof 26.04.2023. Format 60×84 1/8.
Conditional sheet 11.62. Calculated sheet 9.10. Circulation 100 copies. Order N ____.

KNUTD Instant Printing Department.
Mala Shyianovska Street, 2, Kyiv, 01011, Ukraine.

Certificate KB №24822–14762 ПР від 19.04.2021 р.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.