

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ
ЖУРНАЛ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 6 (006)

листопад – грудень 2021

Дніпро 2021

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор	Микола САВИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Заступник головного редактора	Владислав ДАНШЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Відповідальний секретар	Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Випусковий редактор	Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

А. С. Беліков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. М. М. Біляєв, д-р техн. наук, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро. В. І. Большаков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. М. Волчук, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Д. Ф. Гончаренко, д-р техн. наук, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків. С. І. Губенко, д-р техн. наук, Національна металургійна академія України, Дніпро. В. М. Дерев'янка, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. О. Кірічек, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. І. Криворучко, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. О. О. Лапшин, д-р техн. наук, Криворізький національний університет, Кривий Ріг. В. П. Мироненко, д-р арх., Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків. М. М. Налисько, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. Д. Нікіфорова, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. І. Проскуряков, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. В. Л. Седін, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. В. Товбич, д-р арх., Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ. О. В. Харлан, к-т арх., ПДАБА, Дніпро. С. В. Шатов, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Едіт Барна, к-т техн. наук, Будапештський технічно-економічний університет, Будапешт (Угорщина). Анна Бач, д-р арх., Вроцлавський університет, Вроцлав (Польща). Александр Корякінс, д-р техн. наук, Ризький технічний університет, Рига (Латвія). В. І. Куксенко, к-т техн. наук, Управління з атомної енергетики Великобританії, Оксфорд (Великобританія). Богуслав Подхалаянський, д-р арх., Краківський політехнічний інститут імені Тадеуша Костюшка, Краків (Польща).

Науково-практичний журнал входить до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук та архітектури за спеціальностями 132, 191, 192, 194, 263 згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 09.02.2021 № 157 (Додаток 3).

Свідоцтво про Державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації – серія КВ № 24586-14526 ПР – видане Міністерством юстиції України 09 жовтня 2020 р.

Засновник та видавець Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (код за ЄДРПОУ 02070772).

Виходить 6 разів на рік.

Рекомендовано до друку вченою радою академії, протокол № 7 від 28.12.2021 р.

Сайт видання <http://uajcea.pgasa.dp.ua>

Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науково-практичний журнал ISSN *Інформаційно-аналітичні системи:* InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory, Indexing of International Research Journals (CiteFactor). *Електронні бібліотеки та пошукові системи:* Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського. 2710-0367 (Print) 2710-0375 (Online)

Художній і технічний редактор Сергій МОЇСЄНКО
Перекладач Олена ЛЯПЧЕВА
Редактор та коректор Валентина МАЛОВИК

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

**PRYDNIPROVSKA STATE ACADEMY
OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

**UKRAINIAN JOURNAL
OF CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE**

SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

№ 6 (006)

November – December 2021

Dnipro 2021

EDITORIAL STAFF:

<i>Chief Editor</i>	Mykola SAVYTSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Deputy Chief Editor</i>	Vladyslav DANISHEVSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Secretary</i>	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Editor</i>	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>

MEMBERS OF EDITORIAL STAFF:

A. S. Belikov, Doctor of Engineering Science, *Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnipro*. M. M. Biliaiev, Doctor of Engineering Science, *Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro*. V. I. Bolshakov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. M. Volchuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. D. F. Honcharenko, Doctor of Engineering Science, *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv*. S. I. Gubenko, Doctor of Engineering Science, *National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro*. V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. O. Kirichuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. I. Kryvoruchko, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. O. O. Lapshyn, Doctor of Engineering Science, *Kyryvi Rih National University, Kyryvi Rih*. V. P. Myronenko, Doctor of Architecture, *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv*. M. M. Nalysko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. D. Nikiforova, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. I. Proskuriakov, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. V. L. Siedin, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. V. Tovbych, Doctor of Architecture, *Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv*. O. V. Kharlan, Candidate of Architecture, *PSACEA, Dnipro*. S. V. Shatov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Edit Barna, PhD, *Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary*. Anna Bać, Doctor of Architecture, *Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland*. Aleksandrs Korjakins, Doctor of Engineering Science, *Riga Technical University, Riga, Latvia*. V. I. Kuksenko, PhD, Candidate of Engineering Science, *UK Atomic Energy Authority, Oxford, UK*. Boguslaw Podhalyanski, Doctor of Architecture, *Cracow University of Technology, Cracow (Poland)*.

Scientific-Practical Journal is included in	List of scientific professional publications of Ukraine (category "B"), where the results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Engineering Sciences and Architecture (by specialty 132, 191, 192, 194, 263) can be published according to the Resolution of the Ministry of Science and Education of Ukraine No. 157 dated 09.02.2021 (Appendix no. 3).
Certificate of State Registration	of the Print Media – Series KB No. 24586-14526 IIP – issued by the Ministry of Justice of Ukraine dated October 09, 2020.
Founder & Publisher	State Higher Education Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture". Issued 6 times a year.
Recommended for publication by	Academic Board of the Academy, No. 7 from 28.12.2021
Journal website	http://uajcea.pgasa.dp.ua
Placement of the scientific-practical journal in the international scientometric databases and e-libraries	Information and analytical systems: InfoBase Index (IBI Factor = 3.96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). <i>Electronic Libraries and search engines</i> : Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Vernadsky National Library of Ukraine.
ISSN	2710-0367 (Print) 2710-0375 (Online)

Art & Technical Editor Serhii MOISEIENKO
Translator Olena LIAPICHEVA
Editor & Proofreader Valentyna MALOVYK

У ЦЬОМУ НОМЕРІ

Біляев М. М., Берлов О. В., Біляева В. В., Козачина В. А. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ САМОНАГРІВАННЯ НАСИПУ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПОЧАТКУ ПОЖЕЖІ	7
Біляев М. М., Берлов О. В., Губін О. І., Гунько О. Ю., Машихіна П. Б. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПРИ ЕКСТРЕМАЛЬНІЙ СИТУАЦІЇ НА ХЛОРОПЕРЕЛИВНІЙ СТАНЦІЇ	14
Губенко С. І. ОСОБЛИВОСТІ РУЙНУВАННЯ ГЕТЕРОФАЗНИХ ВКЛЮЧЕНЬ ТИПУ «ТУГОПЛАВКА ФАЗА, ЩО ОТОЧЕНА ЛЕГКОПЛАВКОЮ ОБОЛОНКОЮ» ПРИ ДЕФОРМАЦІЇ СТАЛЕЙ	22
Воробйов В. В., Шило О. С. АРХІТЕКТУРНІ АСПЕКТИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ОБВАЛОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ЖИТТЯ НА МІСЯЦІ	30
Кравчуновська Т. С., Заяць Є. І., Косолапов А. Ф., Мартиш О. О., Дьяченко Л. Ю. МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ УМОВ СПОРУДЖЕННЯ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАРІАНТІВ ПРОЄКТНИХ І ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ	47
Мисліборський В. В., Ганзюк А. Л., Нетяга В. А. ЗАХОДИ ПОЖЕЖО І ВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ СУДОВИХ ВИБУХОТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ	54
Нечитайло М. П., Нагорна О. К., Нестерова О. В. ОСНОВНІ ФАКТОРИ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ЗНИЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОБОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ	62
Федорчук-Мороз В. І., Рудинець М. В. ІННОВАЦІЙНІ ПРОЄКТИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ	69
Філоненко Н. Ю., Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФАЗОВИЙ СКЛАД СТАЛІ	75
Теккоз Мерве, Аскеров Хангардаш ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕЛЬСОВОЇ СТАЛІ R260 ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ	83
ГУМАНІТАРНИЙ БЛОК	
Білополий В. В., Лазаренко В. І., Грузін Н. В. ПСИХІЧНЕ ТА СОЦІАЛЬНЕ ЗДОРОВ'Я ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ БУДІВЕЛЬНОГО ВИШУ (ДВНЗ ПДАБА)	87

CONTENT

Biliaiev M.M., Berlov O.V., Biliaieva V.V., Kozachyna V.A. NUMERICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF SELF-HEATING OF PLANT RAW MATERIALS FOR THE PURPOSE OF DETERMINING THE TIME OF THE FIRE INITIATION	7
Biliaiev M.M., Berlov O.V., Gubin O.I., Gunko O.Yu., Mashykhina P.B. NUMERICAL SIMULATION OF ATMOSPHERIC POLLUTION DURING AN EXTREME SITUATION AT A CHLORINE OVERFLOW STATION	14
Gubenko S.I. THE PECULIARITIES OF THE FRACTURE OF HETEROPHASE INCLUSIONS OF THE TYPE " HIGH- MELTING PHASE SURROUNDED BY A LIGHT-MELTING SHELL" IN THE DEFORMATION OF STEELS	22
Vorobiov V.V., Shylo O.S. A TYPOLOGY OF APPROACHES OF SPACE ARCHITECTURE FOR LUNA SETTLEMENTS	30
Kravchunovska T.S., Zaiats Ye.I., Kosolapov A.F., Martysh O.O., Diachenko L.Yu. METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSING THE CONDITIONS FOR THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS AND SUBSTANTIATING THE EFFECTIVENESS OF OPTIONS FOR DESIGN AND ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS	47
Mysliborskyi V.V., Ganzyuk A.L., Netyaga V.A. MEASURES OF FIRE AND EXPLOSION SAFETY OF EXPLOSIVES AND TECHNICAL MEANS DURING CARRIAGE OF FORENSIC EXPLOSION TECHNICAL EXAMINATIONS	54
Nechytailo M.P., Nahorna O.K., Nesterova O.V. MAIN FACTORS WHICH LEAD TO REDUCING THE RELIABILITY OF REVERSE COOLING SYSTEMS	62
Fedorchuk-Moroz V.I., Rudynets M.V. INNOVATIVE PROJECTS TO INCREASE OCCUPATIONAL SAFETY IN UKRAINE AT THE PRESENT STAGE	69
Filonenko N.Yu., Babachenko O.I., Kononenko H.A. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF DEFORMATION AND HEAT TREATMENT OF STEEL ON THE PHASE COMPOSITION OF STEEL	75
Tekgöz Merve, Asgarov Khangardash INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF R260 QUALITY RAIL STEEL AFTER HEAT TREATMENT	83
<i>HUMANITARIAN SECTION</i>	
Bilopolyi V.V., Lazarenko V.I., Hruzin N.V. MENTAL AND SOCIAL HEALTH OF THE STUDENTS (BY THE EXAMPLE OF PRYDNIPROVSKA STATE ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE)	87

УДК 504.5:614.84

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.7.809

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ САМОНАГРІВАННЯ НАСИПУ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПОЧАТКУ ПОЖЕЖІ

БІЛЯЄВ М. М.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
БЕРЛОВ О. В.^{2*}, *канд. техн. наук, доц.*,
БІЛЯЄВА В. В.³, *канд. техн. наук, доц.*,
КОЗАЧИНА В. А.⁴, *канд. техн. наук, доц.*

¹ Кафедра гідравліки та водопостачання, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010, Україна, тел. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1531-7882

^{2*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: berlov.oleksandr@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-7442-0548

³ Кафедра аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, Дніпро, 49000, Україна, тел. +38 (056) 374-98-22, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2399-3124

⁴ Кафедра гідравліки та водопостачання, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпро, 49010, Україна, тел. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6894-5532

Анотація. *Постановка проблеми.* Розглядається задача прогнозування динаміки нагріву насипу рослинної сировини внаслідок дії мікроорганізмів. Діяльність мікроорганізмів приводить до локального підвищення температури в насипу рослинної сировини, що приводить, з часом, до виникнення пожежі на елеваторі. Оцінювання проміжку часу на протязі якого може виникнути пожежа на елеваторі є задачею особливо актуальною. *Мета роботи.* Розробка чисельної багато параметричної моделі для розрахунку процесу нагріву насипу рослинної сировини на елеваторі з метою визначення часу коли можливе виникнення пожежі у сховищі. *Методика.* Для математичного моделювання процесу нагріву насипу рослинної сировини застосовується двовимірне рівняння теплопереносу (рівняння енергії). Дане рівняння враховує можливість розрахунку поля температури при наявності в насипу рослинної сировини шарів з різними тепловими властивостями. Для чисельного інтегрування двовимірного рівняння теплопереносу використовуються дві кінцево-різницевої схеми. Для побудови першої кінцево-різницевої схеми здійснюється аналітичне розщеплення моделюючого рівняння теплопереносу на два кроки. На кожному кроці розщеплення невідоме значення температури визначається за явної схемою «розрахунку, що біжить». Друга кінцево-різницева схема є явною схемою для чисельного інтегрування двовимірного рівняння теплопереносу. *Наукова новизна.* Розроблена ефективна чисельна модель, що дозволяє оперативно, методом обчислювального експерименту визначати, як змінюється, з часом, поле температури всередині насипу рослинної сировини з метою визначення часу можливої пожежі на елеваторі. Модель враховує найбільш суттєві фізичні фактори, що впливають на процес нагріву насипу рослинної сировини. *Практична значущість.* На базі розробленої моделі створена комп'ютерна програма, що дозволяє в режимі реального часу визначати температурне поле всередині насипу рослинної сировини на елеваторі. Чисельна модель буде корисна для аналізу ризику виникнення пожежі на елеваторах та розробки заходів для зменшення виникнення цієї екстремальної ситуації. *Висновки.* Створена чисельна модель та комп'ютерна програма, що реалізує її на комп'ютері, що дозволяє методом обчислювального експерименту досліджувати динаміку нагріву насипу рослинної сировини та прогнозування часу виникнення можливої пожежі. Розроблена комп'ютерна програма може бути реалізована на комп'ютерах малої та середньої потужності. Представлені результати обчислювального експерименту.

Ключові слова: *теплоперенос; насип рослинної сировини; чисельне моделювання; кінцево-різницевої схеми*

NUMERICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF SELF-HEATING OF PLANT RAW MATERIALS FOR THE PURPOSE OF DETERMINING THE TIME OF THE FIRE INITIATION

BILIAIEV M.M.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
BERLOV O.V.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
BILIAIEVA V.V.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
KOZACHYNA V.A.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Hydraulics and Water Supply, Dniprovskiy National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1531-7882

^{2*} Department of Life Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: berlov.oleksandr@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-7442-0548

³ Department of Aerohydrodynamics and Energy Mass-transfer, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine, tel. +38 (056) 374-98-22, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2399-3124

⁴ Department of Hydraulics and Water Supply, Dniprovskiy National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6894-5532

Abstract. Problem statement. The problem of forecasting the dynamics of heating the embankment of vegetable raw materials due to the action of microorganisms is considered. The activity of microorganisms leads to a local increase in temperature in the embankment of vegetable raw materials, which leads, over time, to a fire in the elevator. Estimating the period of time during which an elevator fire may occur is a particularly important task. **The purpose of the article.** Development of a numerical multi-parametric model for calculating the process of heating the embankment of vegetable raw materials in the elevator in order to determine the time when a fire may occur in the storage. **Methodology.** A two-dimensional heat transfer equation (energy equation) is used for mathematical modeling of the heating process of an embankment of plant raw materials. This equation takes into account the possibility of calculating the temperature field in the presence of layers with different thermal properties in the plant material embankment. For the numerical integration of the two-dimensional heat transfer equation, two finite-difference schemes are used. To construct the first finite-difference scheme, the analytical splitting of the modeling heat transfer equation into two steps is carried out. At each step of the splitting, the unknown temperature value is determined according to an explicit “running calculation” scheme. The second finite difference scheme is an explicit scheme for the numerical integration of the two-dimensional heat transfer equation. **Scientific novelty.** An effective numerical model has been developed that allows to quickly determine how the temperature field inside the embankment of plant raw materials changes with time by the method of a computational experiment in order to determine the time of a possible fire at the elevator. The model takes into account the most significant physical factors affecting the heating process of the plant material embankment. **Practical significance.** On the basis of the developed model, a computer program was created that allows in real time to determine the temperature field inside the embankment of plant raw materials on the elevator. The numerical model will be useful for analyzing the risk of fire in elevators and developing measures to reduce the occurrence of this extreme situation. **Conclusions.** A numerical model and a computer program that implements it on a computer have been created, which allows the method of computational experiment to study the dynamics of heating the embankment of vegetable raw materials and predict the time of possible fire. The developed computer program can be implemented on low and medium power computers. The results of a computational experiment are presented.

Keywords: *heat transfer; mound of plant materials; numerical modeling; finite difference schemes*

Постановка проблеми. Коло екстремальних ситуацій, що з’являються на різного роду об’єктах дуже велике – це миттєві викиди хімічно небезпечних речовин, аварійні розливи токсичних речовин, вибухи, пожежі тощо [1–5; 9–15]. Тому, в останній час підвищений інтерес до дослідження наслідків таких екстремальних ситуацій. До такого кола задач відносяться пожежі на елеваторах. На цих об’єктах є значний ризик виникнення пожежі внаслідок самонагрівання насипу рослинної сировини (рис. 1).

Причиною цього є мікробіологічні процеси, що мають місце в сировині. Тепло, що виділяється в одній з частин сировини, наколюється внаслідок малої теплопровідності сировини.



Рис. 1. Пожежа на елеваторі
(<https://korrespondent.net/ukraine/3979822-pozhar-na-elevatore-v-zhmerynke-lykvydyrovan>)

При досягненні певної температури в сировині виникає пожежа. Тому, значний науковий інтерес мають задачі, розв'язок яких спрямовано на прогнозування процесу самонагрівання рослинної сировини з метою визначення часу можливої пожежі на елеваторі. Нижче розглянута побудова математичної моделі для рішення цієї важливої задачі.

Аналіз останніх досліджень. Для моделювання процесів тепломасопереносу, що з'являються при екстремальних ситуаціях використовується декілька математичних моделей [2–5]. Слід відзначити, що пожежа на підприємствах може бути наслідком іншої екстремальної ситуації, наприклад – аварійний розлив рідини. З іншого боку – пожежа, як первинна причина, може «ініціювати» ряд небезпечних ситуацій: вибух, емісія токсичних газоподібних речовин в повітря. Тому існує досить значна кількість математичних моделей, що використовуються для опису «причини» екстремальної ситуації та її «наслідків» [2–5].

По-перше – це емпіричні моделі, що дозволяють швидко оцінювати ризик термічного або токсичного ураження працівників. На другому місці, по складності, знаходяться аналітичні моделі, що дозволяють дослідити процес з урахуванням найбільш важливих параметрів. Але ці моделі не можуть врахувати, наприклад, складну геометричну форму об'єкта, що моделюється. Для деяких задач використання аналітичних моделей є недоцільним. На третьому місці знаходяться чисельні та CFD моделі, що, найчастіше, реалізовані у вигляді комерційних пакетів програм (наприклад пакет ANSYS CFX). Вартість таких пакетів дуже висока. Наприклад, пакет ANSYS CFX коштує порядку 800 тис. доларів США та за періодичне оновлення пакету також потрібно платити гроші. Чисельне моделювання на базі пакету ANSYS CFX може тривати тиждень або більш того, що є досить незручним для проведення, наприклад, первинних, оцінюючих

розрахунків. Але можливості методу чисельного моделювання дуже високі та такий підхід дозволяє, в ряду випадків, перевершити можливості фізичного моделювання.

На підставі аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що в Україні існує дефіцит чисельних моделей, тому для аналізу та прогнозування наслідків екстремальних ситуацій важливим є розробка таких моделей.

Мета статті. Побудова чисельної моделі для прогнозування часу можливого загорання насипу рослинної сировини.

Методика. Розглядається процес нагріву насипу рослинної сировини внаслідок дії мікроорганізмів.

При побудові математичної моделі враховується:

1. Складна геометрична форма насипу рослинної сировини.
2. Нерівномірність коефіцієнту теплопровідності в «тілі» насипу.
3. Можливість завдання будь-якого місця появи нагріву сировини в «тілі» насипу.

Для математичного моделювання поля температури в насипу рослинної речовини використовується наступне рівняння теплопровідності [4]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \sum \frac{Q_i}{\rho_k c_k} \cdot \delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i), \quad (1)$$

де T – температура в насипу; a_x , a_y – коефіцієнти температуропровідності; t – час; Q – інтенсивність « i »-го джерела емісії тепла в насипу сировини; ρ_k, c_k – густина та теплоємність « k »-го шару сировини; $\delta(x - x_i), \delta(y - y_i)$ – дельта-функція Діраку, що показує координати x_i, y_i місця розташування джерела емісії тепла в насипу.

Таким чином, дане рівняння теплопровідності враховує, що область дослідження складається з різних шарів, які мають різні теплофізичні параметри. Наприклад, при наявності двох різних шарів

коефіцієнти температуропровідності визначаються так:

$$a_1 = \frac{k_1}{\rho_1 \cdot c_1}, \quad a_2 = \frac{k_2}{\rho_2 \cdot c_2}, \quad (2)$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти теплопровідності кожного шару.

При наявності шарів з різними теплофізичними параметрами на межі цих шарів ставиться умова «ідеального» теплового контакту.

Методика рішення. Для побудови чисельного розв'язку рівняння (1) використовується прямокутна різницєва сітка. Температура середовища розраховується в середині різницєвих комірок. Форма насипу моделюється за допомогою маркерів [8], тобто, виділяється набір різницєвих комірок, що «відповідають» фізичній межі насипу. На цій межі задається гранична умова першого роду, тобто, $T = \text{const}$, що характеризує температуру навколишнього середовища, де знаходиться насип (приймається $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$). На нижній межі розрахункової області має місце гранична умова – «теплоізолювана стінка». Початкова умова: при $t = 0$ всередині насипу приймається $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. За допомогою маркерів також задається місце, де, внаслідок мікробіологічних процесів, збільшується температура сировини.

Для чисельного розв'язку моделюючого рівняння використовується дві різницєві схеми. Перша різницєва схема розщеплення має вигляд [7]:

$$\frac{T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_{i,j}^n}{\Delta t} = \left[\frac{-T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + T_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{-T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + T_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right] + \frac{\sum Q_k}{2\delta q} \delta_i,$$

$$\frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \left[\frac{T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{T_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right] + \frac{\sum Q_k}{2\delta q} \delta_i,$$

де параметр $\delta_i = 1$, якщо в різницєвій комірці є джерело емісії тепла та $\delta_i = 0$ – якщо ні; $\delta_q = \rho_k c_k$.

Визначенні невідомого значення температури на кожному кроці знаходиться

за явною формулою «розрахунку, що біжить».

Друга різницєва схема [6] для розрахунку значення температури всередині насипу має вигляд:

Перший крок:

$$T_{i,j}^{n+1} = T_{i,j}^n + Vt \frac{T_{i+1,j}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j}^n}{\Delta x^2} a_x + Vt \frac{T_{i,j+1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} a_y.$$

Другий крок:

$$T_{i,j}^{n+1} = T_{i,j}^n + Vt \sum \frac{Q_i}{\rho_k c_k} \cdot \delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i).$$

Тобто, на першому кроці визначається поле температури, що формується в сировині, з часом, внаслідок процесу теплопровідності, а на другому кроці, визначається зміна температури в сировині внаслідок дії джерела емісії тепла (мікробіологічні процеси).

Здійснена програмна реалізація побудованих чисельних моделей. Для програмування був використаний FORTRAN.

Результати. Нижче наведені результати рішення модельної задачі на базі розробленої чисельної моделі та створеного комп'ютерного коду «PILE-2».

Схема розрахункової області (насип рослинної сировини) показана на рисунку 2.

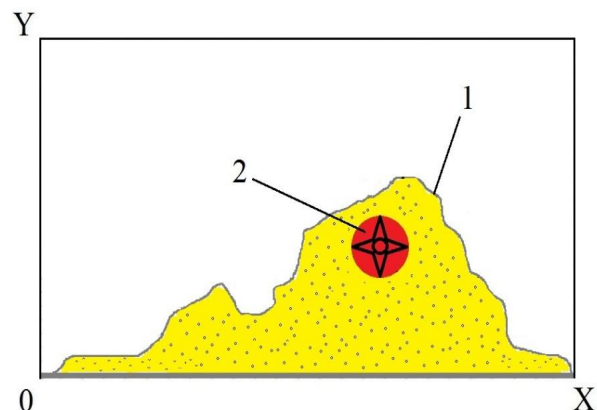


Рис. 2. Схема розрахункової області: 1 – границя насипу; 2 – джерело емісії тепла

Розрахунок здійснювався при таких даних: довжина насипу 19 м, максимальна висота насипу 2,3 м; джерело емісії

знаходиться на висоті 1,4 м; розміри розрахункової області 28 м×4,9 м; коефіцієнт теплопровідності середовища

$$0,09 \text{ Вт/м/град}; \quad \rho \cdot c = 8,5 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \text{град}};$$

$$Q = 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}. \text{ «Вогнище», що емітує тепло має}$$

розміри 1,1 м×0,2 м. Дуже важливо відзначити, що границя насипу рослинної сировини має складну геометричну форму, що враховується в чисельній моделі процесу теплопереносу.

Нижче на рисунках показано поле температури в насипу для різних моментів часу. Кожне число показує значення температури у відсотках від максимальної температури T_{max} в «вогнищі», що розташовано в насипу. Положенню «вогнища» відповідає число «99».

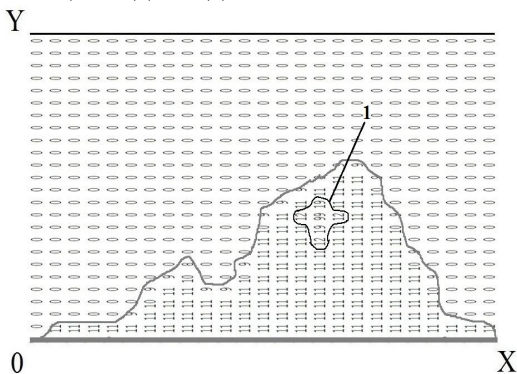


Рис. 3. Поле температури в насипу рослинної сировини, $t = 5,49$ діб, $T_{\text{max}} = 172^\circ \text{C}$:
1 – зона максимальної температури

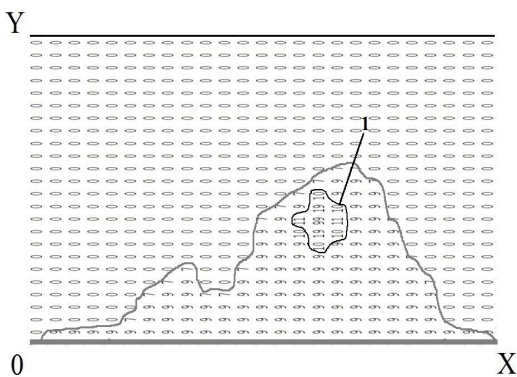


Рис. 4. Поле температури в насипу рослинної сировини, $t = 6,59$ діб, $T_{\text{max}} = 203^\circ \text{C}$:
1 – зона максимальної температури

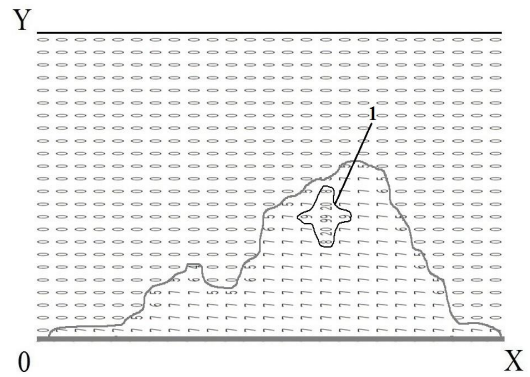


Рис. 5. Поле температури в насипу рослинної сировини, $t = 8,79$ діб, $T_{\text{max}} = 264^\circ \text{C}$:
1 – зона максимальної температури

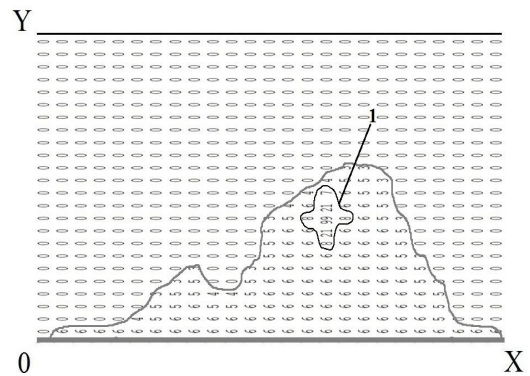


Рис. 6. Поле температури в насипу рослинної сировини, $t = 10,99$ діб, $T_{\text{max}} = 325^\circ \text{C}$:
1 – зона максимальної температури

На рисунках показано поле температури в розрахунковій області для певного часу. Відзначимо, що число «0» відповідає зоні навколишнього середовища (температура 20°C). Кожне число в розрахунковій області показує температуру в відсотках, від максимальної температури T_{max} .

Як можна бачити з наведених рисунків, зона підвищеної температури збільшується з часом та має складну геометричну форму.

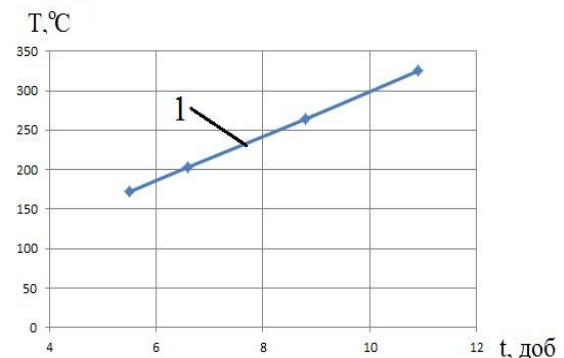


Рис. 7. Зміна максимальної температури в насипу з часом

На рисунку 7 показано, як змінюється максимальна температура сировини в рослинному насипу з часом.

Якщо прийняти, що займання сировини починається при температурі середовища порядку 180...200 °С, то з рисунку 7 можна бачити, що ймовірний час займання дорівнює приблизно 6 дб.

Висновки.

1. Розроблено багато-параметричну чисельну модель для розрахунку динаміки нагріву насипу рослинної сировини

внаслідок дії мікроорганізмів всередині насипу.

2. Розроблена модель базується на використанні двовимірного рівняння тепломасопереносу та дозволяє врахувати складну геометричну форми насипу.

3. Отримання прогнозних даних на базі даної моделі потребує декілька секунд комп'ютерного часу.

Подальший розвиток даного напрямку потрібно спрямувати на створення тривимірної чисельної моделі теплопереносу в насипу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алымов В. Т., Тарасова Н. П. Техногенный риск: анализ и оценка: учеб. пособ. для вузов. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2004. 118 с.
2. Виноградов А. Г. Развитие научных основ систем защиты работников от мощных тепловых излучений водяными завесами: дисс. Черкассы, 2017. 360 с.
3. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. Москва : Пожнаука, 2007. 268 с.
4. Моделирование пожаров и взрывов. Под общ. ред. Н. Н. Брушлинского и А. Я. Корольченко. Москва : «Пожнаука», 2006. 482 с.
5. Біляєв М. М., Берлов О. В., Біляєва В. В., Чередниченко Л. А. Оцінка ризику термічного ураження у випадку аварійного горіння. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. Вип. 6 (271-272). С. 54–60. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.241120.54.698.
6. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. Москва : Мир, 1980. 412 с.
7. Самарский А. А. Теория разностных схем. Москва : Наука, 1983. 616 с.
8. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. К., Беляев Н. Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. Киев : Наукова думка, 1997. 368 с.
9. Anthony Michael Barret. Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectivness. Dissertation (Pittsburg, Pennsylvania, USA), 2009. 123 p.
10. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. *Air Pollution Modeling and its Application XXI (Springer)*. 2012. Pp. 87–91.
11. Chan W. R., Nazaroff W. W., Price P. N., Gadgil A. J. Effectiveness of Urban Shelter-in-Place. II: Residential Districts, 2008. 31 p. URL: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/928232> (Accessed 29 March 2014). doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.04.059.
12. Ilic P., Ilic S., Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool. ALOHA Software. *Quality of Life*. Vol. 9. 2018. Pp. 38–45.
13. John S. Nasstrom, Gayle Sugiyama, Ronald L. Baskett, Shawn C. Larsen and Michael M. Bradley (2007). The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Supports System for Radiological and NUCLEAR Emergency Preparedness and Response. *Int. J. Emergency Management*. № 3, vol. 4. Pp. 1–32.
14. Lacombe J.-M., Truchot D., Duplantier S. Application of an innovative risk dedicated procedure for both conventional and 3D atmospheric dispersion models evaluation. *18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*. 2017. Pp. 1–5.
15. Cejun Cao and oth. Multi-Objective Optimization Model of Emergency Organization Allocation for Sustainable Disaster Supply Chain. 2017. Vol. 9, iss.11. doi: 10.3390/su9112103.

REFERENCES

1. Alymov V.T. and Tarasova N.P. *Tekhnogennyy risk: analiz i otsenka* [Technogenic risk: analysis and evaluation]. *Uchebnoye posobiye dlya vuzov* [A manual for higher education institutions]. Moscow: IKTs «Akademkniга», 2004, 118 p. (in Russian).
2. Vinogradov A.G. *Razvitie nauchnyh osnov sistem zashchity rabotnikov ot moshchnykh teplovykh izluchenij vodyanyimi zavesami: dissertatsiya* [Development of scientific foundations of systems for protecting workers from powerful thermal radiation by water curtains: dissertation]. Cherkassy, 2017, 360 p. (in Russian).
3. Gorshkov V.I. *Tushenye plameny goryuchykh zhydkostej* [Extinguishing flames of flammable liquids]. Moscow: Pozhnauka Publ., 2007, 268 p. (in Russian).

4. Brushlinsky N.N. and Korolchenko A.Ya. *Modelirovanie pozharov i vzryvov* [Simulation of fires and explosions]. Moscow: Pozhnauka Publ., 482 p. (in Russian).
5. Biliaiev M.M., Berlov O.V., Biliaieva V.V. and Cherednychenko L.A. *Ocinka riziku termichnogo urazhennya u vipadku avarijnogo gorinnya* [Assessment of risk of thermal injury in case of accidental burning]. *Visnik Prydniprov's'koï derzhavnoi akademii budivnictva ta arhitekturi* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Vol. 6 (271-272), 2020, pp. 54–60. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.241120.54.698. (in Ukraine).
6. Roache P.J. *Vychislitel'naia gidrodinamika* [Computational Fluid Dynamics]. Moscow: Mir Publ., 1980, 446 p. (in Russian).
7. Samarskiy A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow: Nauka Publ., 1983, 616 p. (in Russian).
8. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K. and Belyaev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modeling of pollution spreading in the environment]. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1997, 368 p. (in Russian).
9. Anthony Michael Barret. *Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectiveness*: dissertation. Pittsburg, Pennsylvania, USA, 2009, 123 p.
10. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. *Air Pollution Modeling and its Application XXI* (Springer). 2012, pp. 87–91.
11. Chan W.R., Nazaroff W.W., Price P.N. and Gadgil A.J. Effectiveness of Urban Shelter-in-Place. II: Residential Districts, 2008, 31 p. URL: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/928232> (Accessed 29 March 2014). doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.04.059.
12. Ilic P., Ilic S., Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool. ALOHA Software. *Quality of Life*. Vol. 9, 2018, pp. 38–45. doi:10.5937/univtho8-18014.
13. John S. Nasstrom, Gayle Sugiyama, Ronald L. Baskett, Shawn C. Larsen and Michael M. Bradley. The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Supports System for Radiological and NUCLEAR Emergency Preparedness and Response. *Int. J. Emergency Management*. No. 3, vol. 4, 2007, pp. 1–32.
14. Lacombe J.M., Truchot D. and Duplantier S. Application of an innovative risk dedicated procedure for both conventional and 3D atmospheric dispersion models evaluation. 18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. 2017, pp. 1–5.
15. Cao C., Li C., Yang Q. and Zhang F. Multi-Objective Optimization Model of Emergency Organization Allocation for Sustainable Disaster Supply Chain. *Sustainability*. Vol. 9, iss. 11, 2017. doi: 10.3390/su9112103.

Надійшла до редакції: 03.11.2021.

УДК 504.5:614.842

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.14.810

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПРИ ЕКСТРЕМАЛЬНІЙ СИТУАЦІЇ НА ХЛОРОПЕРЕЛИВНІЙ СТАНЦІЇ

БЛЯЄВ М. М.^{1*}, докт. техн. наук, проф.,

БЕРЛОВ О. В.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,

ГУБІН О. І.^{3*}, канд. техн. наук, доц.,

ГУНЬКО О. Ю.⁴, канд. техн. наук, доц.,

МАШИХІНА П. Б.⁵, канд. техн. наук, доц.

^{1*} Кафедра гідравліки та водопостачання, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпро, 49010, Україна, тел. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1531-7882

^{2*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: berlov.oleksandr@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-7442-0548

^{3*} Кафедра аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, Дніпро, 49000, Україна, тел. +38 (056) 374-98-22, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5165-2226

⁴ Кафедра гідравліки та водопостачання, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпро, 49010, Україна, тел. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9257-763X

⁵ Кафедра гідравліки та водопостачання, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпро, 49010, Україна, тел. +38(056) 273-15-09, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3057-9204

Анотація. *Постановка проблеми.* Розглядається задача прогнозування динаміки формування зон хімічного забруднення внаслідок аварійного викиду хлору на хлоропереливній станції. Поблизу цієї хлоропереливної станції розташовується крупне селище, тому у випадку виникнення екстремальної ситуації з'являється ризик токсичного ураження людей. З цієї точки зору розробка ефективних багатовимірних математичних моделей, що дозволяють виконати прогноз формування зон хімічного зараження має значну актуальність. *Мета роботи.* Розробка чисельної багатопараметричної моделі та комп'ютерної програми для прогнозування динаміки забруднення атмосферного повітря внаслідок аварійного витоку хлору на хлоропереливній станції. *Методика.* Для математичного моделювання процесу розповсюдження хімічно небезпечної речовини використовується тривимірне рівняння масопереносу (рівняння Г. І. Марчука). Дане моделююче рівняння враховує різний напрям вітру, зміну з висотою вертикального коефіцієнту атмосферної дифузії, інтенсивність викиду хімічно небезпечної речовини, місце розташування джерела емісії. Для чисельного інтегрування тривимірного рівняння масопереносу використовуються кінцево-різницеві схеми розщеплення. Попередньо, для моделюючого рівняння масопереносу здійснюється фізичне його розщеплення: розглядаються роздільно рівняння переносу за рахунок швидкості та за рахунок дифузії. Також окремий крок – зміна концентрації хімічно небезпечної речовини за рахунок дії джерела забруднення. Далі будується різницева схема розщеплення. На кожному кроці розщеплення значення концентрації хімічно небезпечної речовини визначається за явної схемою. *Наукова новизна.* Запропонована чисельна модель, що дозволяє розрахувати динаміку аварійного забруднення атмосферного повітря внаслідок викиду хімічно небезпечної речовини. Математична модель враховує фізичні фактори, що істотно впливають на процес розповсюдження хімічно небезпечної речовини в атмосфері. *Практична значущість.* На базі розробленої моделі створений код, що дозволяє оперативно розраховувати процес аварійного забруднення атмосфери. Математична модель може бути використана при розробці плану ліквідації аварійної ситуації. *Висновки.* Розроблена математична модель та комп'ютерний код, що реалізує її, дозволяють досліджувати динаміку розповсюдження хімічно небезпечної речовини в атмосферному повітрі. Розроблена комп'ютерна програма може бути реалізована на комп'ютерах малої та середньої потужності. Представлені результати обчислювального експерименту.

Ключові слова: хімічне забруднення атмосфери; хлор; чисельне моделювання; аварійний викид

NUMERICAL SIMULATION OF ATMOSPHERIC POLLUTION DURING AN EXTREME SITUATION AT A CHLORINE OVERFLOW STATION

BILIAIEV M.M.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
BERLOV O.V.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
GUBIN O.I.^{3*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
GUNKO O.Yu.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
MASHYKHINA P.B.⁵, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Hydraulics and Water Supply, Dniprovskiy National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water_supply_treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1531-7882

^{2*} Department of Life Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: berlov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-7442-0548

^{3*} Department of Aerohydrodynamics and Energy Mass-transfer, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine, tel. +38 (056) 374-98-22, e-mail: water_supply_treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5165-2226

⁴ Department of Hydraulics and Water Supply, Dniprovskiy National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water_supply_treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9257-763X

⁵ Department of Hydraulics and Water Supply, Dniprovskiy National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana St., 2, Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water_supply_treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3057-9204

Abstract. Problem statement. The problem of forecasting the dynamics of the formation of zones of chemical pollution due to accidental emissions of chlorine at the chlorine overflow station is considered. There is a large village near this chlorine overflow station, so in case of an emergency there is a risk of toxic damage to people. From this point of view, the development of effective multidimensional mathematical models to predict the formation of zones of chemical contamination is of great relevance. **The purpose of the article.** Development of a numerical multi-parameter model and computer program for forecasting the dynamics of air pollution due to accidental leakage of chlorine at the chlorine station. **Methodology.** For mathematical modeling of the propagation of a chemically hazardous substance, a three-dimensional equation of mass transfer is used (the equation of G.I. Marchuk). This modeling equation takes into account different wind directions, changes in the vertical coefficient of atmospheric diffusion with height, the intensity of the release of a chemically hazardous substance, and the location of the emission source. For the numerical integration of the three-dimensional mass transfer equation, finite-difference splitting schemes are used. First, for the modeling equation of mass transfer, its physical splitting is carried out: the equations of transfer due to velocity and due to diffusion are considered separately. Also, a separate step is to change the concentration of a chemically hazardous substance due to the action of a pollution source. Next, a difference splitting scheme is constructed. At each step of the splitting, the value of the concentration of a chemically hazardous substance is determined according to an explicit scheme. **Scientific novelty.** A numerical model is proposed to calculate the dynamics of accidental air pollution due to the release of chemically hazardous substances. The mathematical model takes into account the physical factors that significantly affect the process of distribution of chemically hazardous substances in the atmosphere. **Practical significance.** Based on the developed model, a code is created that allows you to quickly calculate the process of accidental air pollution. The mathematical model can be used in developing an emergency response plan. **Conclusions.** The developed mathematical model and the computer code that implements it allow us to study the dynamics of the spread of chemically hazardous substances in the air. The developed computer program can be implemented on low and medium power computers. The results of a computational experiment are presented.

Keywords: *chemical pollution of the atmosphere; chlorine; numerical simulation, emergency emission*

Постановка проблеми. Екстремальні ситуації, що приводять до викиду хімічно небезпечних речовин створюють загрозу життєдіяльності [1; 3; 5; 10; 12]. Для розробки надійної системи захисту працівників на промислових або інших об'єктах, де використовуються або розмішуються хімічно небезпечні речовини важливо оцінити реальний ризик хімічного

ураження людей у разі виникнення аварійних або інших небезпечних ситуацій (рис. 1). Якщо оцінка ризику ураження виконана «неякісно», то це може привести до створення неефективної системи захисту працівників, що, у підсумку, може привести до катастрофічних наслідків. Тому, дуже важливо здійснити адекватне оцінювання ризику токсичного ураження. Для рішення

цієї задачі потрібно здійснити адекватне прогнозування процесу забруднення атмосферного повітря при викиді хімічно небезпечних речовин на об'єкті у випадку виникнення екстремальної ситуації.

Таким чином, визначення можливих зон хімічного забруднення у разі виникнення екстремальної ситуації на хімічно небезпечному об'єкті є «основою» для оцінювання ризику ураження та розробки комплексу заходів, що спрямовані на забезпечення надійної системи захисту працівників.

Тому була розроблена математична модель для здійснення прогнозування якості атмосферного повітря біля відомих джерел емісії забруднюючих речовин, що базується на використанні багатofакторної математичної моделі переносу домішки в повітряному середовищі.



Рис. 1. Аварія на хімічно небезпечному об'єкті (<https://www.rbc.ua/rus/news/irake-utechki-hlora-postradali-desyatki-lyudey-1552715106.html>)

Аналіз останніх досліджень. В Україні для прогнозування зон хімічного зараження при екстремальних ситуаціях на хімічно небезпечних об'єктах та транспорті дуже поширено використовується нормативна методика, що базується на емпіричних моделях. Ця методика дозволяє дуже швидко визначати розміри зон зараження в залежності від стану атмосфери, інтенсивності викиду небезпечної речовини. Але дана методика не враховує декілька важливих параметрів, наприклад, різну швидкість вітру, що може бути в регіоні. Тобто, на базі даної методики неможливо оцінити зони зараження для різних метеоситуацій. Інший підхід для рішення

задачі по оцінюванню зон хімічного зараження – це використання моделі Гауса [6; 9; 11] або аналітичних моделей [1; 2; 4]. Ці моделі дуже часто застосовується в США, країнах Євросоюзу, Україні. Аналітичні моделі, модель Гауса зручні для проведення прикладних розрахунків, але не враховують, наприклад, зміну швидкості повітря з висотою. Найбільш ефективними є чисельні моделі, що дозволяють врахувати значну кількість факторів, що впливають на інтенсивність та розміри зон хімічного зараження [3; 5; 8]. Тому створення таких моделей є важливою задачею. Використання чисельних моделей дозволяє дослідити вплив різних фізичних параметрів на формування зон хімічного зараження.

Мета статті. Розробка 3D чисельної моделі для експрес прогнозування динаміки забруднення атмосферного повітря при аварійному викиду хімічно небезпечної речовини.

Опис об'єкту. Розглядається прогнозування забруднення атмосферного повітря при виникненні екстремальної ситуації на Аульській хлоропереливній станції (рис. 2). Дана станція була побудована в 1965 р. На цій станції знаходяться ємкості хлору в кількості порядку 300 т. Даний об'єкт відноситься до об'єктів 1-го класу безпеки.



Рис. 2. Аульська хлоропереливна станція (<https://kmsk.dp.ua/news/novosti/aulskuyu-hloroperelivnyuyu-stanciyu-vystavyat-na-torgi>)

При виникненні екстремальної ситуації на станції можливе інтенсивне хімічне забруднення атмосферного повітря та виникає ризик токсичного ураження людей.

Методика. Формування зони хімічного зараження в атмосфері, при аварійному витоку, залежить від багатьох факторів. Тому, при розробці математичної моделі

потрібно врахувати як можна більш таких факторів. Для опису переносу хімічно небезпечної речовини від техногенного джерела забруднення будемо використовувати рівняння масопереносу [3; 8]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial wC}{\partial z} + \sigma C = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \\ + Q_i \cdot \delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i) \cdot \delta(z - z_i), \end{aligned} \quad (1)$$

де C – концентрація хімічно небезпечної речовини; σ – коефіцієнт, що враховує хімічні перетворення хімічно небезпечної речовини; $u(x, y, z), v(x, y, z), w(x, y, z)$ – компоненти швидкості вітру; μ_x, μ_y, μ_z – коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії; Q – інтенсивність емісії хімічно небезпечної речовини при виникненні аварійної ситуації; $\delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i) \cdot \delta(z - z_i)$ – дельта-функція Дірака; x_i, y_i, z_i – координати джерела емісії хімічно небезпечної речовини; t – час.

Для рівняння (1) реалізуються наступні граничні умови [5; 8]:

1. На межі, де потік «втікає»: $C = 0$.

2. На межі, де потік вітру «виходить» з розрахункової області:

$$\left. \frac{\partial C}{\partial n} \right|_{\Gamma_2} = 0.$$

Початкова умова: $C = 0$ для $t = 0$.

Рівняння (1) буде основою математичної моделі для прогнозування забруднення атмосферного повітря при аварійній емісії хімічно небезпечної речовини.

Значення коефіцієнтів атмосферної турбулентної дифузії будемо визначати так

$$\mu_x \approx \mu_y, \quad \mu_y = k_0 \cdot u,$$

де $k_0 = 0,1 \div 1$ м.

Значення вертикального коефіцієнту атмосферної дифузії визначається так:

$$\mu_z = k_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^m,$$

де $k_1 = 0,1 \div 0,2 \text{ м}^2/\text{с}$, $m \approx 1$ – безрозмірний параметр.

Параметри, що необхідні для проведення розрахунку задаються на базі існуючої інформації про об'єкт та метеоумови, що характерні для регіону.

Методика рішення. Для чисельного інтегрування моделюючого рівняння (1) використовується кінцево-різницевий метод. Для проведення розрахунку використовується прямокутна різницева сітка.

Попередньо, для побудови чисельної моделі здійснимо наступне розщеплення моделюючого рівняння (1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right), \\ \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial vC}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right), \\ \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial wC}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \sigma C = \sum Q_i(t) \times$$

$$\times \delta(x - x_i(t)) \delta(y - y_i(t)) \delta(z - z_i).$$

Далі, здійснюються такі перетворення [3; 8]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t},$$

$$\frac{\partial uC}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x},$$

$$\frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y},$$

$$\frac{\partial wC}{\partial z} = \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z},$$

$$u^+ = \frac{u + |u|}{2}; u^- = \frac{u - |u|}{2}; v^+ = \frac{v + |v|}{2};$$

$$v^- = \frac{v - |v|}{2}; w^+ = \frac{w + |w|}{2}; w^- = \frac{w - |w|}{2}.$$

Наступним кроком є апроксимація

похідних так [5; 7]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \mu_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} -$$

$$- \mu_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \mu_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} -$$

$$- \mu_y \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \approx \mu_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} -$$

$$- \mu_z \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z^2} = M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1}$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^+ C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^- C_{i,j+1,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial w^+ C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - w_{i,j,k}^+ C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial w^- C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^- C_{i,j,k+1}^{n+1} - w_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^- C^{n+1}$$

Далі, використовується наступна кінцево-різницева схема розщеплення для чисельного інтегрування першого рівняння з системи (2) [8]:

■ Перший крок:

$$\frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^k = M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n, \quad (3)$$

– Другий крок:

$$\frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^k}{\Delta t} + L_x^- C^{n+1} = M_{xx}^+ C^n + M_{xx}^- C^{n+1}. \quad (4)$$

Кінцево-різницева схема для другого рівняння з системи (2) така:

– Перший крок:

$$\frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} + L_y^+ C^k = M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n, \quad (5)$$

– Другий крок:

$$\frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^k}{\Delta t} + L_y^- C^{n+1} = M_{yy}^+ C^n + M_{yy}^- C^{n+1}. \quad (6)$$

Кінцево-різницева схема для третього рівняння з системи (2) така:

– Перший крок:

$$\frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} + L_z^+ C^k = M_{zz}^+ C^k + M_{zz}^- C^n, \quad (7)$$

– Другий крок:

$$\frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^k}{\Delta t} + L_z^- C^{n+1} = M_{zz}^+ C^n + M_{zz}^- C^{n+1}. \quad (8)$$

Останнє рівняння з системи (2) чисельно інтегрується так (схема Ейлера) [7]:

$$C^{n+1} = C^n - dt * \sigma C +$$

$$+ dt * \sum Q_i(t) \delta(x - x_i(t)) \times$$

$$\times \delta(y - y_i(t)) \delta(z - z_i(t)). \quad (9)$$

Для розробки комп'ютерного коду, що реалізує дану чисельну модель використовувався FORTRAN.

Результати. Розроблена чисельна модель та створений на її базі комп'ютерний код були використані для прогнозування зон хімічного забруднення при витоку хлору на Аульській хлоропереливній станції (рис. 3). Моделювання здійснено для різного напрямку та швидкості повітря.

На рисунку 3 показано область дослідження.

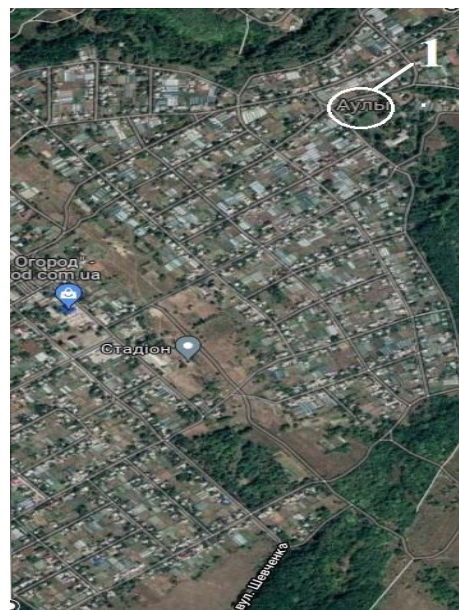


Рис. 3. Область дослідження:
1 – хлоропереливна станція

Розміри розрахункової області: $L_x = 1,1$ км, $L_y = 2,1$ км. Зони хімічного забруднення показані далі на рисунках (рівень $z = 3$ м). На рисунках 4, 5 показані зони хімічного зараження для різних моментів часу, напрям вітру східно-південний, швидкість вітру на висоті 10 м дорівнює $V = 4,8$ м/с.



Рис. 4. Зона хімічного забруднення, $V = 4,8$ м/с, $t = 130$ с: 1 – джерело емісії; 2 – $C = 15$ мг/м³; 3 – $C = 29$ мг/м³; 4 – $C = 46$ мг/м³



Рис. 5. Зона хімічного забруднення, $V = 4,8$ м/с, $t = 243$ с: 1 – джерело емісії; 2 – $C = 16$ мг/м³; 3 – $C = 28$ мг/м³; 4 – $C = 47$ мг/м³

На рисунках 6, 7 показані зони хімічного зараження для різних моментів часу,

швидкість вітру на висоті 10 м $V = 6,8$ м/с та іншого напрямку вітру.



Рис. 6. Зона хімічного забруднення, $V = 6,8$ м/с, $t = 143$ с: 1 – джерело емісії; 2 – $C = 17$ мг/м³; 3 – $C = 28$ мг/м³; 4 – $C = 45$ мг/м³

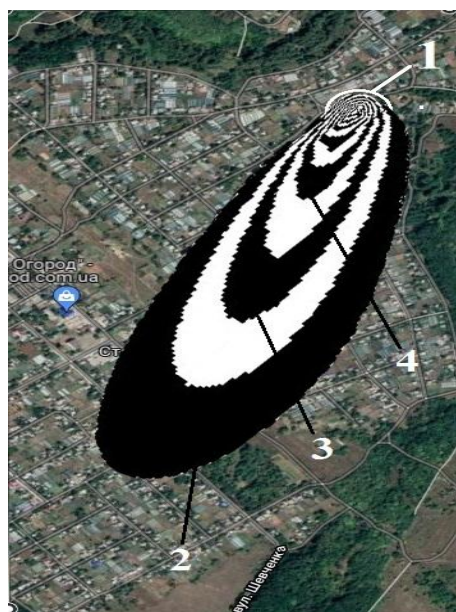


Рис. 7. Зона хімічного забруднення, $V = 6,8$ м/с, $t = 255$ с: 1 – джерело емісії; 2 – $C = 14$ мг/м³; 3 – $C = 27$ мг/м³; 4 – $C = 44$ мг/м³

З наведених рисунків можна бачити, що побудована чисельна модель дозволяє чітко «відслідкувати» вплив зміни напрямку та швидкості вітру на формування зон хімічного зараження, що дозволяє використовувати дану модель для аналізу рівня забруднення атмосферного повітря при різних метеоумовах.

Відзначимо, що час розрахунку складає 7 с.

Наукова новизна та практична цінність. Наведена чисельна модель та комп'ютерна програма для оцінювання зон хімічного забруднення при аварійному витоку хлору. Для використання чисельної моделі на практиці знадобляться вхідні дані, що є типовими для задач даного класу. Чисельна модель дає можливість оперативно визначати динаміку забруднення атмосферного повітря, що дає можливість протягом робочого дня провести серію

розрахунків для аналізу наслідків можливих екстремальних ситуацій.

Висновки. 1. На основі побудованої математичної моделі виконано оцінювання рівня забруднення атмосферного повітря при аварійному витоку хлору.

2. Результати обчислювального експерименту показують, що побудована математична модель дає можливість оперативно аналізувати наслідки можливих аварійних викидів на хімічно небезпечних об'єктах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Басманов А. Е., Говаленков С. С. Оценка концентрации опасных химических веществ в воздухе при непрерывной активности источника. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2010. Вип. 12. С. 21–27.
2. Пляцук Л. Д., Бойко В. В. Аналіз методів математичного моделювання розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері. *Вісник КНУ ім. Михайла Остроградського*. 2010. Вип. 6. С. 1–4.
3. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Калашніков І. В. Математичне моделювання затікання токсичного газу у приміщення при аварії на промисловому майданчику. *Математичне моделювання*. Кам'янське: Дніпровський державний технічний університет, 2018. № 2 (39). С. 95–101.
4. Прохач Э. Е., Попов Н. П. Метод расчета параметров рассеяния пара пролитой на грунт жидкости. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2009. Вип. 10. С. 133–139.
5. Пшинько А. Н., Беляев Н. Н., Машихина П. Б. Моделирование загрязнения атмосферы при техногенных авариях. Днепропетровск: Нова ідеологія, 2011. 166 с.
6. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. Москва: Мир, 1980. 412 с.
7. Самарский А. А. Теория разностных схем. Москва: Наука, 1983. 616 с.
8. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. К., Беляев Н. Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. Киев: Наукова думка, 1997. 368 с.
9. Anthony Michael Barret. *Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectivness*: Dissertation. Pittsburg, Pennsylvania, USA, 2009. 123 p.
10. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. *Air Pollution Modeling and its Application XXI (Springer)*. 2012. Pp. 87–91.
11. Ilic P., Ilic S., Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool. ALOHA Software. *Quality of Life*. Vol. 9. 2018. Pp. 38–45.
12. Lacombe J.-M., Truchot D., Duplantier S. Application of an innovative risk dedicated procedure for both conventional and 3D atmospheric dispersion models evaluation. 18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. 2017. Pp. 1–5.

REFERENCES

1. Basmanov A.E. and Govalenkov S.S. *Otsenka kontsentratsii opasnykh khimicheskikh veshchestv v vozdukh pri nepreryvnoy aktivnosti istochnika* [Assessment of the concentration of hazardous chemicals in the air with continuous activity of the source]. *Problemi nadzvichaynykh situatsiy* [Problems of superficial situations]. Vol. 12, 2010, pp. 21–27. (in Russian).
2. Plyaczuk L.D. and Bojko V.V. *Analiz metodiv matematychnoho modelyuvannya rozpovsyudzhennya zabrudnyuyuchykh rehovyn v atmosferi* [Analysis of methods of mathematical modeling of pollutant distribution in the atmosphere]. *Visnyk KNU im. Mykhayla Ostrohrads'koho* [Bulletin of the Mykhailo Ostrogradsky Kyiv National University]. Vol. 6, 2010, pp. 1–4. (in Ukraine).
3. Biliaiev M.M., Biliaieva V.V., Berlov O.V. and Kalashnikov I.V. *Matematychno modelyuvannya zatikannya toksychnoho hazu u prymyshchennya pry avariyi na promyslovomu maydanchyku* [Mathematical modeling of toxic gas leakage into the premises during an accident on an industrial site]. *Matematychno modelyuvannya* [Mathematical modeling]. Vol. 2 (39), 2018, pp. 95–101. (in Ukraine).
4. Prohach Eh.E. and Popov N.P. *Metod rascheta parametrov rasseyaniya para prolytoy na hrunt zhydkosty* [Method for calculating the parameters of vapor scattering of a liquid spilled onto the ground]. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy* [Problems of emergencies]. Vol. 10, 2009, pp. 133–139. (in Russian).

5. Pshinko A.N., Belyayev N.N. and Mashihina P.B. *Modelirovanie zagryazneniya atmosfery pri tekhnogennykh aviariyakh: monografiya* [Modeling of atmospheric pollution during technogenic accidents: monograph]. Dnipropetrovsk: Nova Ideologiya Publ., 2011, 166 p. (in Russian).
6. Roache P.J. *Vychislitel'naya gidrodinamika* [Computational Fluid Dynamics]. Moscow: Mir Publ., 1980, 446 p. (in Russian).
7. Samarskiy A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow: Nauka Publ., 1983, 616 p. (in Russian).
8. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K. and Belyaev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modeling of pollution spreading in the environment]. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1997, 368 p. (in Russian).
9. Anthony Michael Barret *Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectivness*. Dissertation. Pittsburg, Pennsylvania, USA, 2009, 123 p.
10. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. *Air Pollution Modeling and its Application XXI* (Springer). 2012, pp. 87–91.
11. Ilic P., Ilic S. and Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool. *ALOHA Software. Quality of Life*. Vol. 9, 2018, pp. 38–45.
12. Lacombe J.M., Truchot D. and Duplantier S. Application of an innovative risk dedicated procedure for both conventional and 3D atmospheric dispersion models evaluation. *18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*. 2017, pp. 1–5.

Надійшла до редакції: 03.11.2021.

УДК 669.18

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.22.811

ОСОБЛИВОСТІ РУЙНУВАННЯ ГЕТЕРОФАЗНИХ ВКЛЮЧЕНЬ ТИПУ «ТУГОПЛАВКА ФАЗА, ЩО ОТОЧЕНА ЛЕГКОПЛАВКОЮ ОБОЛОНКОЮ» ПРИ ДЕФОРМАЦІЇ СТАЛЕЙ

ГУБЕНКО С. І., *докт. техн. наук, проф.*

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна; кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (067) 630-01-65, e-mail: sigubenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

Анотація. *Мета.* Вивчення особливостей зародження тріщин в гетерофазних включеннях типу «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою» при деформації сталей. *Методика.* Руйнування гетерофазних включень різних типів досліджували при деформації зразків зі сталей 08Т, 08Ю, 12ГС, 08кп, 09Г2С, НБ-57, 08ГСЮТФ в інтервалі температур 20...1 200 °С. Зразки сталей піддавали розтягуванню, стиску та згину у вакуумі при температурах 20...1 200 °С на установках Инстрон-1195 и ИМАШ-5С зі спеціальними захватами, швидкість переміщення яких становила 20 мм/хв. Застосовували методи дослідження – петрографія та оптична мікроскопія (Неофот-21). *Результати.* Встановлено, що в процесі деформації сталей за різними температурними режимами мікротріщини, що зароджуються поблизу гетерофазних включень типу «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою» можуть бути крихкими та в'язкими. При цьому велика роль рівня пластичності фаз, що становлять включення, яка залежить від температури деформації. Показано особливості зародження мікротріщин для різних поєднань пластичних та недеформованих фаз включень. Проаналізовано взаємодію гетерофазних включень та сталеві матриці при деформації. Встановлено, що зародження та поширення мікротріщин у межах включень типу «тугоплавка фаза, оточена легкоплавкою оболонкою» відбувається як у фазах, так і вздовж внутрішніх міжфазних границь. *Наукова новизна.* Встановлено особливості зародження мікротріщин, пов'язаних з гетерофазними включеннями типу «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою», які мають різне поєднання крихких та пластичних фаз при деформації сталей. Показано, що критичні ступені деформації зразків, при досягненні яких виникали помітні мікротріщини вздовж внутрішніх міжфазних границь, залежать від температури та природи фаз включень. *Практична значимість.* Використання отриманих результатів дозволить розробити технології отримання сталей з регламентованими видами гетерофазних неметалевих включень, що дозволить суттєво підвищити їх технологічні та експлуатаційні характеристики, а також запобігти утворенню різноманітних дефектів при обробці сталей тиском та експлуатації виробів.

Ключові слова: *сталь; неметалеві включення; тріщини; фази; міжфазні границі*

THE PECULIARITIES OF THE FRACTURE OF HETEROPHASE INCLUSIONS OF THE TYPE "HIGH- MELTING PHASE SURROUNDED BY A LIGHT-MELTING SHELL" IN THE DEFORMATION OF STEELS

GUBENKO S.I., *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

Iron and Steel Institute named Z.I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, 1, Acad. Starodubov's Sq., Dnipro, 49107, Ukraine; Department of Materials Science and Treatment of Metals, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (067) 630-01-65, e-mail: sigubenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

Abstract. *Purpose.* The aim of the work was to study of the peculiarities of crack initiation in heterophase inclusions of the "high-melting phase surrounded by a low-melting shell" type during deformation of steels. *Methods.* The destruction of heterophase inclusions of various types was investigated during deformation of specimens from steels 08T, 08Yu, 12GS, 08kp, 09G2S, NB-57, 08GSYuTF in the temperature range 20...1 200 °C [1; 5]. Samples of steels were subjected to tension, compression and bending in vacuum at temperatures of 20...1 200 °C on Instron-1195 and IMASH-5C with special grippers, the movement speed of which was 20 mm / min. Methods of investigation – petrography and optical microscopy (Neophot-21) were used. *Results.* It was found that in the process of deformation of the steels in different temperature regimes, microcracks originating near heterophase inclusions of the "high-melting

phase surrounded by low-melting shell" type can be brittle and ductile. In this case, the role of the level of plasticity of the phases making up the inclusion, which depends on the deformation temperature, is important. The features of microcrack initiation are shown for different combinations of plastic and non-deformable phases of inclusions. The interaction of heterophase inclusions and a steel matrix during deformation is analyzed. It has been established that the nucleation and growth of microcracks within inclusions of the "high-melting phase surrounded by a low-melting shell" type occurs both in the phases and along the internal interphase boundaries. **Scientific novelty.** Specific features of the initiation of microcracks associated with heterophase inclusions of the " high-melting phase surrounded by a low-melting shell" type, which have a different combination of brittle and plastic phases during deformation of steels, have been established. It is shown that the critical degrees of deformation of the samples, upon reaching which noticeable microcracks appeared along the internal interphase boundaries, depend on the temperature and the nature of the phases of the inclusions. **Practical significance.** The use of the results obtained will make it possible to develop technologies for producing steels with regulated types of heterophase nonmetallic inclusions, which will significantly increase their technological and operational characteristics, as well as prevent the formation of various kinds of defects during the processing of steels by pressure and the operation of products.

Keywords: steel; non-metallic inclusions; cracks; phases; interphase boundaries

Вступ. Відомо, що неметалеві включення негативно впливають на технологічні, механічні та експлуатаційні властивості сталей [1–16]. Частинки включень є концентраторами напружень і деформацій в сталях, що сприяє утворенню та розвитку тріщин [1; 5; 17–19]. Вплив неметалевих включень (оксидів, сульфідів, силікатів, нітридів та ін.) на зазначені процеси вивчався в роботах [1–16; 20; 21]. У той самий час відомо, що частка гетерофазних включень в сталях може становити у середньому 10...30 % від загальної їх кількості залежно від технології виробництв. Їх прийнято розділяти за типами [22–27]. Вирішення проблеми гетерофазних включень потребує обов'язкового розвитку теоретичних основ їхнього впливу на процеси руйнування сталі.

Метою роботи є вивчення особливостей зародження тріщин в гетерофазних включеннях типу «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою» при деформації сталей.

Матеріали та методики. Руйнування гетерофазних включень різних типів досліджували при деформації зразків зі сталей 08Т, 08Ю, 12ГС, 08кп, 09Г2С, НБ-57, 08ГСЮТФ розтягуванням, стиском, згином в інтервалі температур 20...1 200 °С у вакуумі на установках Інстрон-1195 та ІМАШ-5С зі спеціальними захватами, швидкість переміщення яких становила 20 мм/хв [1; 5]. Застосовували методи

дослідження – петрографія та оптична мікроскопія (Неофот-21).

Результати. Відомо, що механізми зародження тріщин в неметалевих включеннях носять дислокаційний характер, фактично всі відомі дислокаційні моделі зародження тріщин (Зінера-Стро, Коттрелла, Гілмана, Орована-Стро та інших) можуть бути застосовані для включень. Виникненню тріщин передують локальна пластична деформація, що призводить до концентрації напружень. Площиною сколу багатьох фаз гетерофазних включень є площина (100), що характеризується мінімальною поверхневою енергією. Мікротріщини сколу у фазах включень можуть виникати і на границях зерен та внутрішніх міжфазних границях. Поширення тріщин у включеннях проходить у дві стадії: докритичну та закритичну. Довжина рівноважної тріщини при розтягуванні та згинанні в тугоплавких фазах включень набагато менше, ніж у металах [28].

Оскільки фази в гетерофазних неметалевих включеннях мають різний рівень пластичності і міцності при будь-яких температурах деформації [25], в процесі навантаження на міжфазних границях неминуче виникають напруження, які можуть призвести до руйнування цих границь. Схильність окремих фаз включень до утворення мікроруйнувань така сама, як у відповідних однофазних неметалевих включеннях оксидів, сульфідів, силікатів, нітридів та ін. [1; 5], однак спільне

деформування фаз, що становлять одне включення, має вносити певні особливості в їх поведінку. Очевидно когезивна міцність внутрішніх міжфазних границь в неметалевих включеннях залежить від характеру сполучення решіток фаз, міцності та пластичних характеристик цих фаз, умов навантаження і т. ін. [22; 29; 31–32]. Необхідно пам'ятати, що внутрішні міжфазні границі у включеннях, як правило, послаблюють неметалеві включення і в першу чергу є місцями зародження тріщин усередині включень [33], які можуть бути крихкими або в'язкими залежно від ступеня пластичності фаз включення та умов навантаження.

У включеннях типу «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою», які складаються частіше з легкоплавкої фази-оболонки ф-01 (сульфідної, силікатної), всередині якої знаходиться більш тугоплавка фаза включення – ф2 (недеформовані фази Al_2O_3 , $MnO \cdot Al_2O_3$, $TiCN$, Cr_2O_3 та ін, слабо пластичні фази FeO , $FeO \cdot TiO_2$, фази зі змінною пластичністю при різних температурах $MnO \cdot SiO_2$), як правило, обидві фази мають різко

різні міцнісні і пластичні властивості. Для гетерофазних включень цього типу характерно утворення тріщин по міжфазним границям ф-01↔ф2, оскільки ці границі сприяють локалізації деформації у включенні незалежно від механізму її розвитку, гальмуючи рух дислокацій у пластичній фазі ф-01 або в обох фазах ф-01 та ф2 (якщо фаза ф2 також пластична). Зсувні напруження поблизу границі ф-01↔ф2 сприяють розподілу фаз включення в результаті виходу дислокацій з пластичної фази ф-01 на міжфазну границю, утворення дислокацій орієнтаційної невідповідності та зародження мікротріщин. Вочевидь, величина критичного розміру мікротріщини залежить від когезивної міцності межфазної границі ф-01↔ф2 за кожної температури деформації. Розкриття тріщини в межфазній границі ф-01↔ф2 має супроводжуватися релаксаційними процесами, пов'язаними з трансформацією самої тріщини в процесі її розвитку. У разі недеформованих фаз включення ф-01 і ф2 на міжфазних границях ф-01↔ф2 виникають значні напруження, що розклинюють, і відбувається їх руйнування.

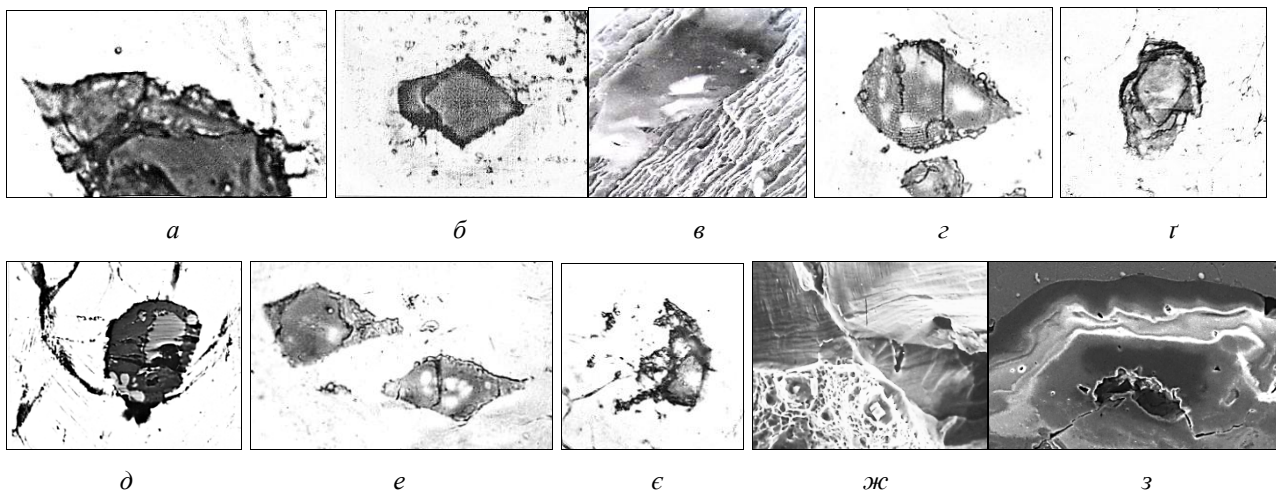


Рис. 1. Тріщини в гетерофазних включеннях «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою» після деформації за 25 (г), 600 (а, г), 900 (б, д, е), 1 200 °С (в): а, в, е – $Al_2O_3 + (Fe, Mn) S$; б – $TiCN + (Fe, Mn) S$; г, і, е – $Al_2O_3 + MnO \cdot SiO_2$; д – $(Fe, Mn) S + MnO \cdot SiO_2$; ×900; в – ×2000 і включення в структурі ламів (ж, з); ×2000

За температур деформації 25...800 °С у включеннях з сульфідною оболонкою ф-01 спостерігали утворення тендітних або в'язких тріщин вздовж міжфазних границь

ф-01↔ф2 в залежності від рівня пластичності сульфідної фази (рис. 1, а). При температурах 850...1 100 °С, коли вздовж границь ф-01↔ф2 відбувається

просковзування [1; 5], частіше виникали в'язкі порожнини в результаті розшарування міжфазних границь у включеннях (рис. 1, б). У разі оплавлення сульфідної фази $\phi\text{-}01$ при більш високих температурах відбувалося плавлення міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$ (рис. 1, в). У включеннях із силікатною фазою $\phi\text{-}01$, яка при температурах нижче $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ не є пластичною, крихкі тріщини виникають на міжфазних границях з оксидною фазою $\phi2$ (рис. 1, з). При температурах $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище силікатна фаза пластична, в ній видно сліди просковзування і мікротріщини, поява яких обумовлена стисненням деформації цієї фази, затиснутої між сталеву матрицею і фазою включення $\phi2$, що є недеформівною (рис. 1, і). Розшарування міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$ відбувається при температурах пластичної поведінки силікатної фази-оболонки $\phi\text{-}01$, причому з підвищенням температури деформації зростає ймовірність в'язкого розшарування цих границь.

У випадках, коли включення складається із силікатної фази $\phi\text{-}01$ та сульфідної фази $\phi2$, поведінка цих фаз визначається температурою деформації. При температурах нижче $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ силікатна фаза-оболонка непластична, що утруднює деформацію пластичної фази $\phi2$ і в обох фазах, також уздовж міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$ виникають мікротріщини. При температурах пластичної поведінки обох фаз відбувається просковзування уздовж міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$ (рис. 1, д) спочатку з боку сульфідної фази $\phi2$ (при досягненні температури $850\text{ }^{\circ}\text{C}$), а потім за участю обох фаз (при досягненні температури $950\text{ }^{\circ}\text{C}$). Цей процес сприяє підвищенню рівня пластичності міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$, тому тріщини на цих границях виникають рідко, хоча можливий їх в'язкий розподіл. У включеннях обидві фази можуть бути непластичні або мало пластичні. У цих випадках при всіх температурах деформації насамперед поблизу або уздовж міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$ виникають крихкі тріщини, які нерідко поширюються на фази включення (рис. 1, е).

Таким чином, характер руйнування міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$ в гетерофазних включеннях типу «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою» залежить від ступеня пластичності фази-оболонки $\phi\text{-}01$ включення (або обох фаз), яка визначається температурою деформації, а також від ймовірності пластичної поведінки цих границь. Найчастіше в досліджуваних включеннях при різних температурах спостерігали зародження крихких тріщин уздовж міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$, проте при пластичній поведінці однієї або обох фаз, а також у разі реалізації просковзування уздовж внутрішніх границь, що вивчаються, при високих температурах проходило їх в'язке розшарування. Очевидно, напруження, що виникають у границях $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$ сприяють розшаруванню цих границь з утворенням крихких і в'язких тріщин залежно від співвідношення швидкостей зміцнення та динамічного знеміцнення цих границь, а також рівня їхньої когезивної міцності.

За аналогією з границями включення-матриця [1; 22], визначали критичні ступені деформації $\epsilon_{\text{кр}}$ зразків розтягуванням, при досягненні яких виникали помітні мікротріщини уздовж міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$. Аналіз даних, наведених в таблиці, показав, що величина $\epsilon_{\text{кр}}$ істотно залежить від температури деформації, що визначає рівень пластичності фаз включення (насамперед фази-оболонки $\phi\text{-}01$) і границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$ (пов'язаний з можливістю просковзування). Чим вище температура деформації, тим більше величина $\epsilon_{\text{кр}}$ для усіх вивчених включень цього типу.

Розвиток мікроруйнувань, що виникли в гетерофазних включеннях типу «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою» під час пластичної деформації, здійснюється в три стадії. Перша стадія включає локалізацію деформації та зародження крихких або в'язких тріщин шляхом розшарування уздовж міжфазних границь $\phi\text{-}01\leftrightarrow\phi2$, або поблизу цих границь. На другій стадії відбувається зростання тріщин у локальних межах. На третій стадії відбувається поширення мікроруйнувань у

включеннях і далі у металеву матрицю (рис. 1, е).

Аналіз структури зламів різних сталей показав, що гетерофазні включення типу «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою» з силікатною фазою-оболонкою ф-01 руйнувалося шляхом сколу без

утворення порожнини на границі зі сталеву матрицею (рис. 1, ж). Включення з сульфідною фазою-оболонкою ф-01 також руйнувалося без утворення порожнини на границі зі сталеву матрицею (рис. 1, з), проте сліди деформації свідчать про в'язке руйнування цієї фази.

Таблиця

Вплив температури на критичний ступінь деформації ($\epsilon_{кр}$, %), при досягненні якої руйнуються внутрішні міжфазні границі у включеннях

Включення, сталь	Температура деформації, °С				
	25	600	900	1 100	1 200
TiCN + (Fe, Mn) S, 08Т	8,4	13,7	24,5	32,2	оплав
Al ₂ O ₃ + MnO·SiO ₂ , 08Ю	4,2	8,2	17,6	22,5	27,4
(Fe, Mn) S + MnO·SiO ₂ , 08Ю	12,7	17,4	21,7	32,6	37,4
TiCN + TiO ₂ , 08Т	3,5	5,2	6,5	6,9	7,4

Висновки. Результати досліджень показали, що різноманітність фаз, що становлять гетерофазні включення типу «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою», призводить до їх різної поведінки в умовах навантаження. Рівень пластичності та міцності окремих фаз, характер будови та рівень когезивної міцності внутрішніх міжфазних границь у

включеннях є факторами, що забезпечують міцнісні властивості гетерофазних включень «тугоплавка фаза, що оточена легкоплавкою оболонкою». Критичні ступені деформації зразків, при досягненні яких виникали помітні мікротріщини вздовж внутрішніх міжфазних границь, залежать від температури та природи фаз включень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Губенко С. И., Ошкадеров С. П. Неметаллические включения в стали. Киев: Наукова думка, 2016. 528 с.
2. André Luiz Vasconcellos daCosta e Silva. The effects of non-metallic inclusions on properties relevant to the performance of steel in structural and mechanical applications. *Journal of Materials Research and Technology*. № 8. 2019. Pp. 2408–2422.
3. Sága M., Blatnická M., Blatnický M., Dižo J., Gerlici J. Research of the Fatigue Life of Welded Joints of High Strength Steel S960 QL Created Using Laser and Electron Beams. *Materials*. Vol. 13 (11). Basel, Switzerland, 2020. Pp. 25–39. URL: <https://doi.org/10.3390/ma13112539>.
4. Бельченко Г. И., Губенко С. И. Деформация неметаллических включений при прокатке стали. *Известия АН СССР. Металлы*. 1983. № 4. С. 80–84.
5. Губенко С. И. Физика разрушения сталей вблизи неметаллических включений. Днепропетровск: НМетАУ, ИЦ Системные технологии, 2014. 301 с.
6. Губенко С. И., Иванов И. А., Соболев А. А. Особенности износа поверхности катания цельнокатаных колес. *Известия Петербургского университета путей сообщения*. Санкт-Петербург: изд-во ПГУПС, 2013. С. 73–84.
7. Кушнер В. С., Кутько А. А., Воробьев А. А., Губенко С. И., Иванов И. А. Влияние структуры и механических характеристик колесных сталей на изнашивание и режимы восстановления профиля колесных пар. Омск: изд-во ОмSTU, 2015. 221 с.
8. Губенко С. И. Влияние неметаллических включений и продуктов коррозии на износостойкость железнодорожных колес. *Сталь*. 2019. № 6. С. 51–55.
9. Губенко С. И., Пинчук С. И., Белая Е. В. Влияние структурного состояния колесной стали на развитие коррозии. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2009. № 2. С. 69–73.
10. Губенко С. И., Пинчук С. И., Белая Е. В. Исследование влияния неметаллических включений на коррозионное поведение колесной стали. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2011. № 7. С. 70–74.
11. Губенко С. И. Некоторые структурные аспекты колесной стали, определяющие качество железнодорожных колес. Современные технологии производства транспортного металла. Нижний Тагил: изд-во НМТК, 2008. 394 с. С. 88–113.

12. Губенко С. И., Иванов И. А., Кононов Д. П. Влияние качества стали на усталостную прочность цельнокатаных колес. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2018. Т. 84, № 3. С. 52–60.
13. Богданов А. Ф., Губенко С. И., Жуков Д. А., Иванов И. А. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства обода цельнокатаного колеса. Конструкционно-технологическое обеспечение надежности колес рельсовых экипажей. Санкт-Петербург: ПГУПС, 2009. С. 15–23.
14. Губенко С. И., Галкин А. М. К вопросу о природе красноточности стали. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1984. № 10. С. 11–15.
15. Губенко С. И. Неметаллические включения и пластичность сталей. Физические основы пластичности сталей. Saarbrücken: LAP LAMBERT, Palmarium academic publishing, 2016. 549 с.
16. Губенко С. И., Парусов Э. В., Парусов О. В. Роль границ включение-матрица в процессах разрушения сталей. *Черные металлы*. 2021. № 6 (1074). С. 42–47.
17. Губенко С. И. Релаксационные процессы вблизи включений и на межфазных границах включение-матрица стали. *Металлы*. 2021. № 3. С. 49–60.
18. Губенко С. И. Роль межфазных границ включение-матрица стали в развитии релаксационных процессов вблизи неметаллических включений. *Металлознавство та термічна обробка металів*. 2020. № 5. С. 3–10.
19. Бельченко Г. И., Губенко С. И. Микронеоднородная деформация стали, содержащей неметаллические включения. *Известия АН СССР. Металлы*. 1981. № 4. С. 94–97.
20. Gubenko S. I., Ivanov I. A., Kononov D. P. Features of Corrosive Destruction in Different Elements of Railway Wheels. *Steel in Translation*. 2021. Vol. 51, № 6. Pp. 400–415.
21. Губенко С. И. Гетерофазные микрокомпозитные включения в сталях. Germany-Mauritius, Beau Bassin: Palmarium academic publishing, 2019. 330 с.
22. Губенко С. И. Межфазные границы включение – матрица в сталях. Межфазные границы неметаллическое включение – матрица и свойства сталей. Germany – Mauritius, Beau Bassin: Palmarium academic publishing, 2017. 506 с.
23. Губенко С. И., Беспалько В. Н. Виды и структура гетерофазных включений в сталях. *Металлознавство та термічна обробка металів*. 2019. № 1 (84). С. 30–35.
24. Губенко С. И. Структура многофазных неметаллических включений в сталях. *Теория и практика металлургии*. 1999. № 1. С. 22–27.
25. Gubenko S. I. Plasticity Origin of Heterophase Inclusions at Steel Forming. *Steel in Translation*. 2020. Vol. 50, № 10. Pp. 730–739.
26. Губенко С. И. Поведение гетерофазных включений «тугоплавкая фаза, окруженная легкоплавкой оболочкой» при обработке сталей давлением. *Вісник ПДАБА*. 2020. № 3 (264–265). С. 40–45.
27. Губенко С. И. Рівень пластичності фаз в неметалевих включеннях, що мають складну структуру. *Металлознавство та термічна обробка металів*. 2021. № 3 (94). С. 19–25.
28. Андриевский Р. А., Ланин А. Г., Рымашевский Г. А. Прочность тугоплавких соединений. Москва: Металлургия, 1974. 232 с.
29. Губенко С. И. К вопросу о строении межфазных границ неметаллическое включение – матрица в стали. *Известия АН СССР. Металлы*. 1994. № 6. С. 105–112.
30. Губенко С. И., Иськов М. В. Структура и сопротивление разрушению межфазных границ неметаллическое включение – матрица стали. *Теория и практика металлургии*. 2004. № 5. С. 30–38.
31. Губенко С. И. Коллективные дислокационные эффекты, или фазовые переходы в границах неметаллическое включение – матрица стали. *Физика металлов и металлостроение*. 1990. Т. 6. С. 184–188.
32. Губенко С. И. Локальные пики параметров и процессов на границах неметаллическое включение – матрица стали. *Сталь*. 1999. № 8. С. 64–67.
33. Губенко С. И. Влияние межфазных границ «неметаллическое включение – матрица» на когезионную прочность стали. *Металлознавство та термічна обробка металів*. 2006. № 1. С. 11–17.

REFERENCES

1. Gubenko S.I. and Oshkadev S.P. *Nemetallicheskie vkluchenija v stali* [Non-metallic inclusions in steel]. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 2016, 528 p. (in Russian).
2. André Luiz Vasconcellos daCosta e Silva. The effects of non-metallic inclusions on properties relevant to the performance of steel in structural and mechanical applications. *Journal of Materials Research and Technology*. No. 8, 2019, pp. 2408–2422.
3. Sága M., Blatnická M., Blatnický M., Dižo J. and Gerlici J. Research of the Fatigue Life of Welded Joints of High Strength Steel S960 QL Created Using Laser and Electron Beams. *Materials*. Basel, Switzerland, 2020, vol. 13 (11), pp. 25–39. URL: <https://doi.org/10.3390/ma13112539>.
4. Belchenko G.I. and Gubenko S.I. *Deformatsiya nemetallicheskih vklyucheniy pri prokatke stal*. [Deformation of non-metallic inclusions during steel rolling]. *Izvestiya AN SSSR. Metallurgiya* [News of the USSR Academy of Sciences. Metals]. 1983, no. 4, pp. 80–84 (in Russian).

5. Gubenko S.I. *Fizika razrusheniya staley vblizi nemetallicheskih vklyucheniy* [Physics of steel fracture near non-metallic inclusions]. Dnipropetrovsk: NMetAU, Information Technology Systems Technologies, 2014, 301 p. (in Russian).
6. Gubenko S.I., Ivanov I.A. and Sobolev A.A. *Osobennosti iznosa poverkhnosti kataniya tsel'notkatanykh koles* [Features of wear of the rolling surface of solid-rolled wheels]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of the St. Petersburg University of Railway Engineering]. Saint-Petersburg: Publishing House of State University of Railway Transport, 2013, pp. 73–84 (in Russian).
7. Kushner V.S., Kutko A.A., Vorobyov A.A., Gubenko S.I., Ivanov I.A. *Vliyaniye struktury i mekhanicheskikh kharakteristik kolesnykh staley na iznashivaniye i rezhimy vosstanovleniya profilya kolesnykh par* [The influence of the structure and mechanical characteristics of wheel steels on wear and restoration modes of the wheelset profile]. Omsk: OmSTU Publ., 2015, 221 p. (in Russian).
8. Gubenko S.I. *Vliyaniye nemetallicheskih vklyucheniy i produktov korrozii na iznosostoykost' zheleznodorozhnykh koles* [Influence of nonmetallic inclusions and corrosion products on wear resistance of railway wheels]. *Stal'* [Steel]. 2019, no. 6, pp. 51–55 (in Russian).
9. Gubenko S.I., Pinchuk S.I. and Belaya E.V. *Vliyaniye strukturnogo sostoyaniya kolesnoy stali na razvitiye korrozii* [Influence of the structural state of wheel steel on the development of corrosion]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 2009, no. 2, pp. 69–73 (in Russian).
10. Gubenko S.I., Pinchuk S.I. and Belaya E.V. *Issledovaniye vliyaniya nemetallicheskih vklyucheniy na korroziionnoye povedeniye kolesnoy stali* [Investigation of the influence of non-metallic inclusions on the corrosion behavior of wheel steel]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 2011, no. 7, pp. 70–74 (in Russian).
11. Gubenko S.I. *Nekotoryye strukturnyye aspekty kolesnoy stali, opredelyayushchiye kachestvo zheleznodorozhnykh koles. Sovremennyye tekhnologii proizvodstva transportnogo metalla* [Some structural aspects of wheel steel that determine the quality of railway wheels. Modern technologies for the production of transport metal]. Nizhnyi Tahlil: NMTK Publ., 2008, 394 p., pp. 88–113 (in Russian).
12. Gubenko S.I., Ivanov I.A. and Kononov D.P. *Vliyaniye kachestva stali na ustalostmiyu prochnost' tsel'notkatanykh koles* [Influence of the quality of steel on the fatigue strength of solid-rolled wheels]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Factory laboratory. Diagnostics of Materials]. 2018, vol. 84, no. 3, pp. 52–60 (in Russian).
13. Bogdanov A.F., Gubenko S.I., Zhukov D.A. and Ivanov I.A. *Poverkhnostnyy sloy i ekspluatatsionnyye svoystva oboda tsel'notkatanogo kolesa. Konstruktsionno-tekhnologicheskoye obespecheniye nadezhnosti koles rel'sovykh ekipazhey* [The surface layer and the operational properties of the rim of a seamless-rolled wheel. Structural and technological support for the reliability of the wheels of rail crews]. Saint-Petersburg: PGUPS Publ., 2009, pp. 15–23 (in Russian).
14. Gubenko S.I. and Galkin A.M. *K voprosu o prirode krasnolomkosti stali* [On the nature of steel brittleness]. *Metallovedenie I termicheskaya obrabotka metallov* [Metal Science and Heat Treatment of Metals]. 1984, no. 10, pp. 11–15 (in Russian).
15. Gubenko S.I. *Nemetallicheskiye vklyucheniya i plastichnost' staley* [Non-metallic inclusions and ductility of steels. The physical basis of the ductility of steels]. Saarbrücken: LAP LAMBERT. Palmarium academic publishing, 2016, 549 p. (in Russian).
16. Gubenko S.I., Parusov E.V. and Parusov O.V. *Rol' granits vklyucheniyematrixa v protsessakh razrusheniya staley* [The role of inclusion-matrix boundaries in the processes of destruction of steels]. *Chernyye metally* [Ferrous Metals]. 2021, no. 6 (1074), pp. 42–47 (in Russian).
17. Gubenko S.I. *Relaksatsionnyye protsessy vblizi vklyucheniy i na mezhfaznykh granitsakh vklyucheniyematrixa stali* [Relaxation processes near inclusions and at the interphase boundaries between the inclusion-matrix of steel]. *Metally* [Metals]. 2021, no. 3, pp. 49–60 (in Russian).
18. Gubenko S.I. *Rol' mezhfaznykh granits vklyucheniyematrixa stali v razvitii relaksatsionnykh protsessov vblizi nemetallicheskih vklyucheniy* [The role of interphase boundaries inclusion-matrix of steel in the development of relaxation processes near non-metallic inclusions]. 2020, no. 5, pp. 3–10 (in Russian).
19. Belchenko G.I., Gubenko S.I. *Mikroneodnorodnaya deformatsiya stali, soderzhashchey nemetallicheskiye vklyucheniya* [Microinhomogeneous deformation of steel containing nonmetallic inclusions]. *Izvestiya AN SSSR. Metally* [Izvestia of the Academy of Sciences of the USSR. Metals]. 1981, no. 4, pp. 94–97 (in Russian).
20. Gubenko S.I., Ivanov I.A. and Kononov D.P. *Features of Corrosive Destruction in Different Elements of Railway Wheels. Steel in Translation*. 2021, vol. 51, no. 6, pp. 400–415.
21. Gubenko S. *Geterofaznye mikrokompozitnyye vklyucheniya v stalyakh* [Heterophase microcomposite inclusions in steels]. Germany – Mauritius, Beau Bassin, Palmarium academic publishing, 2019, 330 p. (in Russian).
22. Gubenko S.I. *Mezhfaznyye granitsy vklyucheniyematrixa v stalyakh. Mezhfaznyye granitsy nemetallicheskiye vklyucheniyematrixa i svoystva staley* [Inclusion – matrix interfaces in steels. Non-metallic inclusion – matrix interface and properties of steels]. Germany – Mauritius, Beau Bassin: Palmarium academic Publishing, 2017, 506 p. (in Russian).

23. Gubenko S.I. and Bespalko V.N. *Vidy i struktura geterofaznykh vklyucheniy v stalyakh* [Types and structure of heterophase inclusions in steels]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metal Science and Heat Treatment of Metals]. 2019, no. 1 (84), pp. 30–35 (in Russian).
24. Gubenko S.I. *Struktura mnogofaznykh nemetallicheskich vklyucheniy v stalyakh* [The structure of multiphase nonmetallic inclusions in steels]. *Teoriya i praktika metallurgii* [Theory and Practice of Metallurgy]. 1999, no. 1, pp. 22–27 (in Russian).
25. Gubenko S. I. Plasticity Origin of Heterophase Inclusions at Steel Forming. *Steel in Translation*. 2020, vol. 50, no. 10, pp. 730–739.
26. Gubenko S.I. *Povedeniye geterofaznykh vklyucheniy "tugoplavkaya faza, okruzhennaya legkoplavkoy obolochkoy" pri obrabotke staley davleniyem* [Behavior of heterophase inclusions "high-melting phase surrounded by low-melting shell" during pressure treatment of steels]. *Visnyk PDABA* [Bulletin of PSASEA]. 2020, no. 3 (264–265), pp. 40–45 (in Russian).
27. Gubenko S.I. *Riven' plastychnosti faz v nemetalevykh vklyuchennykh, shcho mayut' skladnu strukturu* [The level of plasticity of phases in non-metallic inclusions with a complex structure]. *Metallovedenie I termicheskaja obrabotka metallov* [Metal Science and Heat Treatment of Metals]. 2021, no. 3 (94), pp. 19–25 (in Russian).
28. Andrievsky R.A., Lanin A.G. and Rymashevsky G.A. *Prochnost' tugoplavkikh soyedineniy* [Strength of refractory compounds]. Moscow: Metallurgy Publ., 1974, 232 p. (in Russian).
29. Gubenko S.I. *K voprosu o stroyenii mezhfaznykh granits nemetallicheskiye vklyucheniye – matritsa v stali* [To the question of the structure of interphase boundaries non-metallic inclusion – matrix in steel]. *Izvestiya AN SSSR. Metally* [News of the USSR Academy of Sciences. Metals]. 1994, no. 6, pp. 105–112 (in Russian).
30. Gubenko S.I. and Iskov M.V. *K voprosu o stroyenii mezhfaznykh granits nemetallicheskiye vklyucheniye – matritsa v stali* [On the question of the structure of interphase boundaries non-metallic inclusion – matrix in steel]. *Teoriya i praktika metallurgii* [Theory and Practice of Metallurgy]. 2004, no. 5, pp. 30–38 (in Russian).
31. Gubenko S.I. *Kollektivnyye dislokatsionnyye efekty, ili fazovyye perekhody v granitsakh nemetallicheskiye vklyucheniye – matritsa stali* [Team dislocation effects or phase transformations in 'nonmetallic inclusion – matrix' boundaries in steel]. *Fizika Metallov i Metallovedenie* [Physics of Metals and Metal Science]. 1990, no. 6, pp. 184–188 (in Russian).
32. Gubenko S.I. *Lokal'nyye piki parametrov i protsessov na granitsakh nemetallicheskiye vklyucheniye – matritsa stali* [Local peaks of parameters and processes at the non-metallic inclusion – matrix boundaries of steel]. *Stal`* [Steel]. 1999, no. 8, pp. 64–67 (in Russian).
33. Gubenko S.I. *Vliyaniye mezhfaznykh granits "nemetallicheskiye vklyucheniye – matritsa" na kogeziyuyu prochnost' stali* [Influence of interphase boundaries "non-metallic inclusion – matrix" on the cohesive strength of steel]. *Metallovedenie I termicheskaja obrabotka metallov* [Metal Science and Heat Treatment of Metals]. 2006, no. 1, pp. 11–17 (in Russian).

Надійшла до редакції: 12.11.2021.

УДК 66.001.5:693.546

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.30.812

АРХІТЕКТУРНІ АСПЕКТИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ОБВАЛОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ЖИТТЯ НА МІСЯЦІ

ВОРОБІЙОВ В. В.^{1*}, канд. арх., доц.,
ШИЛО О. С.², ст. виклад.

^{1*} Кафедра архітектурного проектування та містобудування, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (068) 424-98-19, e-mail: vivavo151151@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1539-3196

² Кафедра архітектурного проектування та містобудування, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (098) 212-48-80, e-mail: olgashilo2016@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9869-5474

Анотація. Постановка проблеми. Обвалування місячних комплексів, придатних для життя, реголітом при вирішенні завдань їх захисту від радіації, метеоритної небезпеки та інших космічних викликів, розглядається як одна з кращих і доступних технологій, наділена тільки захисною функцією. Однак, сучасні дослідження впливу геометричних форм архітектурних об'єктів на людину, на стійкість конструкцій та інженерно-технічного обладнання будівель, дозволяє стверджувати, що саме геометрична форма обвалування як зовнішньої оболонки комплексу, придатного для життя що містить в собі наступні геометричні простори, своєю конфігурацією генерує умови, які визначають внутрішні моделі поляризації середовища і всі види її впливу на людей і приміщення. **Мета статті** – розкрити архітектурні аспекти формоутворення обвалованих комплексів, придатних для життя, на Місяці як програматорів вітальних і техногенних процесів у внутрішньому та зовнішньому просторі населених комплексів. **Висновок.** У зв'язку з тим, що розробка проектів створення місячних поселень в країнах так званого «Космічного клубу» ведеться на основі знань, що постійного змінюються, виникає необхідність показу інверсії підходів до ролі архітектурної форми обвалувань населених комплексів. Тобто показу того, як з пасивної, утилітарної просторової форми обвалування, зробити її формою-генератором активних керованих багатовекторних матриць просторово-тимчасових взаємодій екіпажів і споруд один з одним, з Місяцем і Космосом.

Ключові слова: архітектурні аспекти обвалованих місячних комплексів; обваловані місячні комплекси, придатні для життя; реголіт; поляризація внутрішнього середовища населених комплексів; умови на Місяці; просторово-часовий програматор; резонансний підхід до архітектурного формоутворення

A TYPOLOGY OF APPROACHES OF SPACE ARCHITECTURE FOR LUNA SETTLEMENTS

VOROBIOV V.V.^{1*}, Cand. Sc. (Arch.), Assoc. Prof.,
SHYLO O.S.², Assist. Prof.

^{1*} Department of Architectural Design and Urban Planning, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (068) 424-98-19, e-mail: vivavo151151@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1539-3196

² Department of Architectural Design and Urban Planning, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (098) 212-48-80, e-mail: olgashilo2016@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9869-5474

Abstracts. Problem statement. Humanity is inching closer to the technical possibility of establishing outer space settlements on the Moon. The space club nations have joined their potential or move ahead with their own space exploration efforts to work on outer space projects of Luna habitats. The new Moon Race has begun with its first stage of architectural design played out on Earth. The Internet resources and research publications in printed journals suggest different approaches to lunar settlement designs, which can be explained by extreme surface conditions and configurations of the Moon, as well as various goals and objectives set by the states seeking to gain a foothold on our nearest neighbor in space. In cooperation with other nations, Ukraine participates in the exploration of the Moon. However, the global expert community has not yet come up with clear and unambiguous concepts of the typology of the organizational architecture for lunar settlements. **The purpose of this article** is to give insight into the typology of objective timeless approaches to the architectural organization of lunar settlements. **Conclusions.** Colonisation of other

planets, as an immediate objective of the humankind, will begin with the exploration of the Moon, where various adaptation methods could be developed relevant to the conditions of other worlds. Nevertheless, there are some common objective factors affecting the settlements of pioneers from Earth. Thus, the need for identifying and systematising an objective typology of approaches to the architectural organization of lunar settlements as a condition for the subsequent colonisation of more distant planets has become important.

Keywords: *a typology of architectural organization; luna settlement; objective approaches; adaptation methods; colonization of the Moon; impact factors*

Постановка проблеми. Факт впливу геометрії простору будь-якого генезису на психофізіологію, працездатність, вид діяльності та часовий період його виконання, незалежно від матеріалу, що утворює контур для створеного простору, відомий давно. Він описаний в древніх трактатах всіх цивілізацій, що існували на Землі будь-коли, і використаний при будівництві будівель і поселень в Стародавньому Китаї, Індії, Тибеті, Греції, та інших культурах. Він описаний в книгах з ведичної архітектури (васту, яджурведе, стхапатя веде). Описаний в книгах архітекторів Середньовіччя, архітекторів Ренесансу та інших. У древніх археологічних об'єктах Придніпров'я, включаючи зону Дніпровських порогів, теж виявлені сліди використання «ефекту форми» [5; 6; 14; 17].

Базові «ефекти форми», або явища «морфічних полів» (їх термінологія розрізняється залежно від галузі знань і країни, і, якщо слідувати публікаціям, має близько 40 варіантів назв) активно досліджуються зараз [7; 11]. У першу чергу – у військовій сфері та в деяких інших «закритих» галузях знань, де за допомогою форми генерують ті чи інші випромінювання, яким притаманна велика потужність. Вони дозволяють отримувати високоефективні технології, які не можна отримати іншими способами. Наприклад, за їх допомогою дистанційно дуже швидко визначаються ареали залягання корисних копалин; знаходяться невідомі раніше археологічні об'єкти; програмується поведінкові реакції великих мас людей і окремих персоналій; влаштовуються інженерно-технічні системи, що не мають аналогів у світі ні за ефективністю, ні за унікальністю рішення; випускаються речовини (включаючи сталь, полімерні

матеріали, скло, кераміку та інші) з такими унікальними властивостями, які неможливо отримати на основі загальновідомих технологій; за допомогою «ефектів форми» перепрограмовуються властивості природних матеріалів (наприклад, дерева, сталі та інших); створюються генератори таких полів для медичних та інших цілей; створюються пристрої для миттєвого надшвидкого, який неможливо виявити сучасними технічними засобами, пошуку, зв'язку; робиться багато чого [2; 3; 8].

Все це дозволяє вважати можливим досліджувати властивості геометрії обваловок місячних поселень у контексті їх впливу на життєдіяльність екіпажів і роботу споруд у цілому.

Це стало можливим завдяки науково-дослідним роботам, що були проведені під керівництвом В. В. Воробйова (Дніпропетровський інженерно-будівельний інститут) в 90-і роки ХХ століття: на північному Байкалі (у рамках Міжнародної програми «Ноосферне Майбутнє Людства») (1995–1997 рр.); у Криму (за програмою дослідження слабких дистанційних взаємодій об'єктів живої та неживої природи, що були проведені на території Карадазького заповідника у 1994 р.); на дні Чорного моря з використанням підводного апарату «Лангуста» (за програмою енергоінформаційних досліджень локацій військових об'єктів на глибинах до 540 метрів у рамках співробітництва з військово-морським флотом України) (1994, 1995 і 2004 рр.); при розробці архітектурно-містобудівних засад проектування екополісу «Ірій – Сад» на Дніпровських порогах, (включаючи пошук принципів і прийомів енергоінформаційної взаємодії геометричних форм рукотворних об'єктів з енергоінформаційними формами місцевості, з людьми та з астропланетарними процесами,

що проєктуються в ареал майбутнього будівництва) (2008–2020 рр.); у проєкті районного планування Дніпропетровської області (в рамках розробок КиївГППРОГРАДу – першої в історії України піонерної енергоінформаційної карти адміністративної області) (2001 р.); в інших регіональних, національних та міжнародних програмах такого профілю, в тому числі – космічних (1995–1997; 2014–2021 рр.). Це дозволило отримати висновки, які можуть бути застосовані для розробки обвалованих комплексів, придатних для життя на Місяці, з урахуванням особливостей середовища на його поверхні.

Разом з тим, сучасні підходи до архітектурного формоутворення обвалованих поселень на Місяці, що розробляються у різних країнах, не дивлячись на те, що містять унікальні інженерно-технічні, будівельно-технологічні, матеріалознавчі та інші досягнення, все-таки обходять стороною різні аспекти впливу геометричної форми на життєдіяльність екіпажів і експлуатацію таких поселень з позиції широкого ряду енергоінформаційних взаємодій людей і місячних комплексів, придатних для життя. Хоча інші аспекти використання геометрії форм обваловок досліджуються і розраховуються ефективно (теплотехнічні аспекти, питання радіаційного захисту, захисту населених комплексів від падіння метеоритів, захисту від інших небезпечних явищ, що існують на поверхні Місяця тощо) [9; 15; 20; 26].

Настав час розширити діапазон уявлень про використання обваловок в архітектурному формоутворенні комплексів, що придатні для життя на Місяці.

Аналіз публікацій за цією проблематикою дозволяє стверджувати, що така можливість існує. Методичні прогалини в знаннях, що постійно накопичуються в галузі використання обваловок при створенні комплексів, придатних для життя – малих і великих баз з постійним проживанням людей або їх

епізодичним перебуванням, а також станцій та поселень, придатних для життя, що функціонують в режимі повного автономного життєзабезпечення, життєдіяльності на основі регулярних човникових поставок усього необхідного з Землі, або гібридних технологій існування – на Місяці тепер можуть бути усунені

Мета статті – розкрити роль і види впливу енергоінформаційних властивостей геометрії обваловок населених комплексів на Місяці, що раніше не враховувались, як доповнення до вже відомих властивостей цих обваловок, що досі враховувалися.

Результати досліджень. Під словосполученням «енергоінформаційні умови, аспекти або впливи» мається на увазі інтегральний комплекс полів і форм впливів на живі організми та споруди. В їх числі й ті, що називаються «полями форми», «морфічними полями» Альфреда Руперта Шелдрейка, лептонними полями, первинними та вторинними торсійними аксонними, спіновими, спірними, мікролептонними) полями, нігронними полями, хрональними (темпоральними) полями, біотичними полями, іншими полями, частина з яких тепер розглядаються у варіантах «Нової фізики» («Фізики після стандартної моделі»). Ряд таких полів описаний в древніх манускриптах і в сучасних публікаціях під іншими термінами. Деякі вчені вважають, що хоч назв і багато, але суть їх приблизно одна. Є підстави не погоджуватися з цим твердженням, і ця незгода впливає з ряду практичних прикладних робіт на замовлення організацій, що були виконані В. В. Воробйовим на різних територіях, в різних середовищах (на борту літака-лабораторії, під водою (в ході занурень на дно Чорного моря у підводному апараті «Лангуста»), в шахтах під землею, а також на поверхні землі) і в різні роки. Швидше за все, можна погодитися з іншим: є деякі загальні моменти. Але існують і властивості, які не повторюються. До переліку назв входять:

- «випромінювання часу» М. О. Козирева;
- «хрональне поле» А. І. Вейника;
- «О-випромінювання» В. Райха;

- «Z-випромінювання» О. Л. Чижевського;
- «N-випромінювання» Блондло;
- «D-поле» О. А. Деєва;
- «M-поле» Шалдрейка і Хайка;
- «біоелектромагнітні поля» П. Ліакуреза;
- «біполярні поля» В. Кроппа;
- «біокосмічна енергія» Г. Ієронімуса;
- «енергія порожнечі» Рейхенбаха;
- «X-сила» Імена;
- «X-агент» Моріяма.

Встановлено, що торсіонні поля:

- є основним компонентом в «мітогенетичних променях» А. Г. Гурвіча;
- відповідальні за «ефект стільникових і порожнинних структур» В. С. Гребеннікова;
- «ефект форми» або «формове поле»;
- «дзеркальний цитопатичний ефект» В. П. Казначєєва;
- значну частину феноменології М. Тесла;
- «вільну енергію» Д. А. Келлі;
- «енергію гравітаційного поля» А. Найпера;
- «електрогравітацію» Т. Т. Брауна;
- «антигравітацію»;
- «пндермоторні сили» Н. П. Мишкіна;
- «п'яту силу».

Торсіонні поля є головним чинником, що діє в:

- «інерцоїдах» В. М. Толчіна;
- відповідальні за «ефект Кірліан»;
- «макроскопічні флуктуації» Є. С. Шноля.

Торсіонні поля досліджувалися за допомогою:

- «багатополярних генераторів» В. В. Ленським;
- «генераторів СГ-розряду» А. В. Чернетським;
- «підсилювачів біополя» Ю. В. Цзян Каньчженем.

Існує певний перелік пристроїв, що пов'язані, з дослідженням таких полів.

Генератори А. О. Берідзе-Стаховського, досліджувала Т. П. Решетнікова, яка встановила тотожність впливу генератора Берідзе-Стаховського та впливу екстрасенсів. В обох випадках змінювався спіновий стан ядер різних біологічних об'єктів. Генератори В. М. Юровицького (запатентовані), який використав магнітні поля, що обертаються (В. М. Юровицький першим висловив думку про необхідність використання спінової далекодії для пояснення ряду ефектів, що спостерігалися). Генератори В. В. Бобиря, принцип дії яких аналогічний генераторам В. М. Юровицького. Відзначимо також генератори О. А. Деєва, В. М. Жвірбліса, Е. Д. Проніна, Г. О. Сергєєва, С. Н. Тарахтія, Н. Е. Федоренко.

Деякі автори вказували на незвичайну поведінку об'єктів з певною геометрією поверхні. Багаторазово відзначався той факт, що тіла, геометричні розміри яких мають співвідношення «золотого перетину», є своєрідними концентраторами якоїсь «енергії». У багатьох країнах існує велика кількість літератури та безліч патентів на цю тему.

Г. І. Шиповим було показано, що об'єкт, який має певну геометрію поверхні, внаслідок геометричного або топологічного обурення фізичного вакууму, породжує одночасно праві та ліві торсіонні поля певної просторової конфігурації (залежно від геометрії об'єкту).

В результаті експериментальних робіт, що були виконані, в Інституті фізики АН України та Чернівецькому університеті, були досліджені ефекти впливу торсіонних полів, що породжуються конусами. Виражені ефекти впливу на процес кристалізації міцелярних структур відбуваються при використанні конусів зі співвідношеннями 1:0,618.

Праві та ліві торсіонні поля фіксуються фізичними, хімічними та біологічними індикаторами. Торсіонні поля екрануються матеріалами з ортонормованою топологією структури (зокрема, поліетиленовою плівкою, яка серійно випускається промисловістю). Вибірково можна екранувати тільки ліві або тільки праві торсіонні поля. Це описано у ряді

патентів. «Геопатогенні зони» – зони з сильною залишковою спіновою поляризацією фізичного вакууму.

У 20-х роках А. Г. Гурвіц виявив випромінювання клітин, назване мітогенетичним [10; 22; 24].

Усі ці підходи до формоутворення місячних комплексів, що придатні для життя, так чи інакше, будуть пов'язані з принципом нелокальності, теж відомим тисячі років тому, і теж під іншими термінами. У ХХ столітті він був заново відкритий та віднесений до числа самих «проривних» досягнень сучасних знань. Принцип нелокальності відкрили сучасні фізики-теоретики Надьє, Кафатос, Лапьер, Тілен, Гізін, Хедлі, Бірд, Беннет, Зайлінер, Девіс та інші. Він вказує на те, що дві елементарні частинки можуть взаємодіяти та миттєво передавати інформацію один одному незалежно від відстані [16; 19].

Принцип нелокальності створюється кожною архітектурною або містобудівною формою, її конфігурацією, просто за фактом того, що вона є, незалежно від матеріалу. Змінюючи конфігурацію будівлі або генерального плану населеного місця, можна змінювати багатомірно-просторові адреси (локації) об'єктів взаємодії, а також форми та види людських рефлексій (видів діяльності та траєкторій переміщення у просторі).

Відкриття нелокальності вказує на наявність невидимої багатовимірної реальності, яка містить у собі видимий нами світ фізичної реальності та миттєво, без втрати часу, пов'язує всі фізичні події Всесвіту. У стародавніх трактатах ця технологія описана у вигляді 2400 властивостей Мандали – універсального Вселенського гліфа, що використовується, у всіх видах використання просторів. Гліфу, що містить в собі всі доступні розумінню людей геометричні властивості простору і пов'язані з ними властивості психіки та біопольової структури людини в залежності від тих чи інших його астропланетарних властивостей і циклів – ендогенних і екзогенних.

Сучасні фізики підтвердили це: Всесвіт являє собою динамічне і неподільне ціле, яке не можна розкласти на незалежні один від одного найдрібніші складові. Наприклад, фізик Дж. Белл в 1965 році сформулював теорему, згідно з якою у Всесвіті не існує ізольованих систем, а кожна частка знаходиться в «миттєвому» зв'язку з усіма іншими частинками. Навіть якщо між об'єктами існують величезні відстані, відсутні сигнали, поля, механічні сили тощо, вони все одно функціонують як єдина система. У 1982 р. правильність теореми Белла підтверджено експериментами А. Аспекта, Ж. Далібана і Ж. Роже з інституту оптики Паризького університету.

Все це мало давні транскрипції – предтечі в галузі архітектури містобудування. Включаючи технології, в яких геометрія архітектурних форм і генеральних планів населених місць створювалася як фрактал структури Всесвіту. Проекція об'єктів Космосу на об'єкти архітектури та містобудування, включаючи вселенську мегасітку, – найстійкіша традиція всіх без винятку культур і цивілізацій минулого, незалежно від того, на якому континенті та в яку астропланетарну епоху вони існували. Вони були закладені в дешифрах Мандал, Янтр і Мандорл, приобрієвій і наддирній астрономії, у декодерах зіркових проєкцій, у системах осіровання з конкретними Космічними адресами.

Усі ці підходи, взяті разом, утворювали «не технічні технології» (технології геометрії форм) архітектурно-містобудівного формоутворення, званих також багатовимірними технологіями. Об'єкти Древніх, створені на їх основі, хоч і розташовувалися у фізичному світі на поверхні Землі, але їх властивості були пов'язані з перетворенням просторово-часового континууму незримих світів з управлінням часом. Іншими словами, формоутворення простору життя ґрунтувалося на резонансних ефектах, що корелюють з особливостями енергоінформаційної структури людини. При такому підході кількість використовуваних сил відрізнялася від чотирьох сил сучасної

науки, серед яких гравітація, електромагнетизм, сильна та слабка взаємодія.

У давнину на першому місці стояла «сила або енергія життя».

Геометричні форми тих чи інших об'єктів Космосу, що фракталізуються, в геометричних формах об'єктів архітектури та містобудування, створюють одні й ті ж вібрації, на які налаштоване тіло людини [23].

Якщо таких відповідностей не робити, почнеться розбалансування організму членів екіпажів місячних комплексів, придатних для життя, і передчасні деструктивні явища в будівельних матеріалах і конструкціях. Таким чином, древні архітектурно-містобудівні трактати містять «морфічні коди» зоряних відповідностей геометричних форм будівель і решіток генеральних планів поселень галактичним секторам або іншим ділянкам Всесвіту [5].

Принципи морфічного резонансу, принципи торсіонного резонансу були пріоритетними. Форма рельєфу з конкретним кутом нахилу його бічної поверхні була одним з важливих визначників діапазону налаштування на космічний об'єкт, що фракталізується. У тому числі – якщо говорити про поселення на Місяці – в системі «Земля – Місяць – геометрична форма «точки» на її поверхні, обраної для поселення землян – геометрія форми поселення – людина – Сонце – ядро нашої Галактики». Цей ланцюжок слідує з квантово-механічних уявлень П. Дірака, з існування шуманівських резонансів і з ряду інших теорій. Включаючи хвильову модель Всесвіту. У ній хвильові процеси пов'язані з законом числа « π » [21; 25].

Оцінювати ефекти форми об'єктів архітектури та містобудування у давнину і зараз необхідно з урахуванням зміни порогів сприйняття та чутливості людей до навколишнього середовища, що їх оточує. Залежно від астропланетарної епохи, пов'язаної з процесійним зміщенням земної осі та з положенням Сонячної

системи в процесі руху у Галактиці, ці пороги дуже сильно різнилися. Людина бачила інші кольори, чула інші звуки, відчувала іншу шкалу запахів тощо [12].

Геометричні форми древніх населених місць, а також окремих будівель, створювалися за принципом антен, що приймають та передають. Діаграми спрямованості випромінювання цих антен були орієнтовані на взаємодію з вібраціями центру Галактики або центру Всесвіту. Мінливість космічної ситуації приводила до необхідності створення нових геометричних форм архітектурно-містобудівних об'єктів, але зі збереженням ефекту, що антенує. З переходом на форми з круговою діаграмою направленості випромінювань «полів форми», на інші діаграми.

Прецесія осі Землі вводила нові «правила гри» в геометрію форм генеральних планів «містечок».

Апофеозом віртуозності в цій грі стали геометричні форми-антени так званих «ідеальних» міст епохи Відродження, створені такими архітекторами-геніями, як Аверліо (Філарете), Скамоцці, Вітрувієм, Альберті та іншими.

Геометрія планів і обсягів будівель, побудованих з урахуванням відроджених ними древніх принципів, вимагали прив'язки до частот Всесвіту, що властиві часу епохи Відродження, що показується Вселенським Годинником. Потім прийшли нові астропланетарні цикли [18].

Форми генпланів міст епохи Відродження не просто враховували число зовнішніх зв'язків із Всесвітом, а й всередині цих зв'язків спиралися на «танці планет» – видимі у той проміжок часу у небі Землі протягом того чи іншого числа років орбітальні «розетки» Марса, Венери, Юпітера і ряду інших планет. Всього – двадцяти семи.

Відповідно до цього «Годинника», з 22 вересня 2012 року настав новий астропланетарний цикл, частоти якого вимагають вже інших геометричних форм при створенні об'єктів на Землі та, як наслідок, на Місяці, що рухається по орбіті навколо нашої планети. Правильним є тільки те, що збігається з довжинами хвиль і частотами

електромагнітних та інших полів нашого Світу.

Підсумком такого збігу повинно стати розуміння Єдиного. З цього приводу написано багато древніх і більш пізніх трактатів. Наприклад, в діалозі «Про Причину, Початок і Єдине» Джордано Бруно написав: *«Той, хто не збагнув Єдине, не збагне нічого; а той, хто воістину осягає Єдине, осягає все. Той, хто наближається до осягнення Єдиного, наближається до осягнення всього».*

У давнину геометрична структура генерального плану кожного населеного місця містила елементи морфологічної відповідності верствам (циклам) розвороту і згортання Всесвіту і його окремих «шарів». Це стосувалося і верств генплану, і пропорцій між ними, і розбивки на внутрішні сектори. Схожі вимоги стосувалися і планування будівель та споруд. Люди, проживаючи вселенські цикли, то «згортали» свої енергоінформаційні поля, то «розгортали» їх, зменшуючи або збільшуючи число зв'язків між зовнішнім і внутрішнім світом людини, між світом Землі та Космосом. Кожен цикл життя Всесвіту диктував свою геометричну конфігурацію будівель та споруд, а також їх ділянок, яка підбиралася під частотні діапазони вселенського циклу і вселенського шару.

Колись в давнину існували й інші знання про використання геометрії будівель та споруд в тих чи інших цілях. Наприклад, **теургія**, яку використовували під різними назвами всі народи Землі. Теургія – це синтез науки та мистецтва, це навчання навичкам, як за допомогою геометричної форми будівель, генеральних планів місць та інших просторів, за допомогою їх симетрій і ритмів досягають тих чи інших змін якостей людського організму та його психосфери з метою досягнення Єдності із Всесвітом.

Ще один напрямок древніх високорозвинених знань, які поки не доступні сучасній науці, – створення архітектурних форм і форм генеральних планів поселень як мистецтва проєкцій на

Землю, у задану точку і геометрію природного ареалу, систем багатовимірних просторів і часів [4; 13].

Мистецтво входження людини в синхронізацію, в Єдинство з ними. Зрозуміло, все це мало відповідні математичні апарати, в основі яких лежала математика принципово іншого типу, ніж сучасна. В наші дні багато сторінок стародавньої історії людства на Землі вимагають кардинального перегляду, про що пишуть багато найбільших вчених світу, оскільки знаходиться все більше й більше артефактів, які говорять про те, що колись людство знаходилося на вищому рівні розвитку, ніж зараз. Але в силу певних планетарних катаклізмів всі ці знання і технології було втрачено, і люди опинилися відкинутими назад та розпочали свій розвиток спочатку.

З деякими артефактами довелося познайомитися і В. В. Воробйову. Один з них був знайдений в уламку лави вулкану Карадаг в Криму, що вибухнув приблизно 60 мільйонів років тому. Артефакт нагадував технічний пристрій, заснований на невідомих сучасній науці принципах: бувши зробленим з якихось «як би» металевих елементів, маючи розмір близько 15 см в трьох напрямках, він висів в повітрі там, де його залишила людина, після чого починав відстежувати рух Місяця і повертатися за ним без жодних звуків. Предметом легко можна було розколювати камені, та навіть забивати цвяхи – він виглядав і поведився, чисто зовні, як металева «болванка». Хоча як можна розбити камінь предметом, що не має ваги – питання, що не має відповіді. Але артефакт дійсно нічого не важив!!! Опис інших артефактів – окрема тема, у зв'язку з чим тут не приводиться.

В 90-х роках ХХ століття на базі архітектурного відділення Дніпропетровського монтажного технікуму та архітектурного факультету ДІСІ В. В. Воробйовим проведено експерименти з геометричними формами різних видів – плоских і об'ємних (з кулею, кубом, циліндром, півсферою та іншими), в ході яких за допомогою медичних приладів визначалися форми їх взаємодії з психофізіологією людей з різною групою крові та з іншими

особливостями. Експерименти проводилися на базі 9-й міської лікарні Дніпропетровська, на базі одного з військових госпіталів і клініки МВС України. Потім експерименти було продовжено на північній частині Байкалу, в першу чергу, в Онокачанській губі (затоці), які проводилися за участю медиків з різних країн, які брали участь у Міжнародній програмі «Ноосферне Майбутнє Людства» (включаючи тему «Космічна архітектура» – керівник В. В. Воробйов, Дніпропетровськ). Іншими словами, протягом 1990–2019 років досліджувалися різні аспекти впливу геометрії форм на людей та на неживі об'єкти.

Перерахуємо ряд важливих явищ, які створюються геометрією форм незалежно від їх матеріалу. Але залежно від ефекту, пов'язаного з крутінням простору, що породжується фактом існування геометричної форми будь-якого об'єкту, а також – з іншими явищами.

Природно, в рамках статті неможливо описати всі ймовірні версії «ефекту форми». Вони можуть створюватися і в інших комбінаториках структурних елементів, а також варіантах їх поєднань у складі комплексу, що придатний для життя на Місяці. В кожній з концепцій обвалованих комплексів, що придатні для життя, на Місяці, зображених на наступних малюнках, використовуються ті чи інші комбінаторики ефектів впливу геометричної форми на психофізіологію людського організму при створенні резонансного ряду системи «Місяць – форма куполу або інший – Сонце – і т. д.». В прикладах використані модульні елементи у вигляді півсфери (купола), напівбочки, бочки, циліндра, яйцеподібної півсфери, мандорла тощо.

Ці форми відібрані на основі багаторічних попередніх експериментів В. В. Воробйова, що згадані вище. Кожна з форм має свій тип «полів форми». Згруповані в кожну з цих компоновальних схем, вони, при цьому, генерують ще одну матрицю «полів форми» інтегрального

типу, яка виконує той чи інший варіант керованих взаємодій з енергоінформаційною структурою людини, визначаючи типологію його рефлексій.

Геометрія купола та всіх інших первинних геометричних форм буде залежати від точки локації на поверхні Місяця. Геометричні абрисы природних форм поверхні Місяця і ґрунт, що існують у конкретному місці, матимуть різні довжини хвиль електромагнітного та інших випромінювань, що впливають на рух крові та ментальність членів екіпажу; кожній довжині хвилі електромагнітного випромінювання (ЕМВ) буде відповідати своя міра випуклості купола. Центр підкупольного простору, що становить 1/3 частину діаметра підстави купола, можна заповнювати обладнанням, перегородками та іншими компонентами. Інший простір необхідно представити як 6, 8 або 12 секторів – «альковів», з відсутністю стінки з боку серединної «порожнечі» у внутрішньому просторі купола. Причина – у просторовій епюрі поляризації енергоінформаційних процесів навколо купола і всередині його обсягу, які створюються самою формою цієї споруди. Кожна з поляризаційних «пелюсток», що виникають стосовно центру, має індивідуальні якості впливу на психофізіологію людського організму в залежності від його психотипу та вікової групи. Тобто налаштовує виконання резонансних пелюсток видів діяльності.

Одним з важливих властивостей півсфери є здатність цієї форми самодобудовувати себе до повної сфери на польовому рівні. Таким чином, в підкупольному просторі виникає ефект впливу сфери з усіма типами впливу на людину, що витікають звідси. Включаючи ефект рівності сил стосовно людини та її психосфери.

Змінюючи геометричні абрисы купола до форми яйця, що стоїть вертикально, або навіть до форми тополоїда, можна досягти переходу на частоти, які необхідні для членів екіпажу місячного поселення.

Це актуально і через те, що в умовах Землі люди живуть на поверхні псевдосфери Лобачевського, де, як відомо, дві паралельні

лінії перетинаються. Це запрограмовано у підсвідомість людини. І саме ця властивість людської психіки та підсвідомості найчастіше не береться до уваги при розробці поселень в екстремальних умовах на Землі та на інших планетах Сонячної системи.

У внутрішньому та зовнішньому просторі модульних елементів у формі напівбочки та бочки головним ефектом є те, що вони самодобудовують себе до повної тривимірної мандорли на енергоінформаційному рівні. Центр мандорли є місцем максимальної активності вітальних функцій, і ця активність може програмуватися на заданий відрізок часу внаслідок зміни величини випуклості у найширшій частині мандорли пробудження.

В структурі простору циліндра всі поляризаційні ефекти пов'язані зі співвідношенням діаметра та висоти циліндра. При висоті меншій за діаметр виникають явища посилення право спінових вихрових потоків на одному його зрізі та збереження правоспіновості, але з меншим потенціалом, на іншому зрізі. Знаючи правила поєднання поляризаційних ефектів півсфери та циліндра, можна отримати матрицю рефлексій заданих якостей, необхідних екіпажу місячного поселення.

Внутрішні та зовнішні поляризаційні ефекти яйцеподібної та тополоїдної форми, вимагають спеціального самостійного опису. Вони дуже багатопланові та, у залежності від поєднання з іншими формами, дають різні результати. Які, своєю чергою, пов'язані з векторами сил або напрямками, що мають астрономічне значення для поверхні Місяця. Ці вектори створюють для нашого небесного супутника свою одиницю довжини, яка і ляже в основу визначення розмірів таких геометричних форм. При наявності такої одиниці в цих формах збережеться явище подолання ірраціональності числа $\pi \approx 3,14159$, що існує у відношенні довжини окружності до її діаметра. Необхідно домогтися

відношення довжини окружності до її діаметра, що дорівнює трьом. Для цього і необхідна інша одиниця довжини. В умовах Землі вона дорівнює 0,829 м. В умовах Місяця її необхідно визначити. Приплющене коло і яйцеподібна форма плану у поселенні на Місяці повинні бути такими, щоб їх периметри дорівнювали цілому числу такого «зменшеного селенометра». Тому найважливішим елементом для проектування та будівництва місячного поселення є периметр його модульних елементів. А також правила утворення структурних сіток, що створюють оболонку кожного модуля. Зокрема, в них повинні бути присутні: зближення опорних точок оболонки із заходу на схід, по параболічній функції. Із заходу на схід повинна змінюватися і висота напівяйцевидної форми оболонки. На заході висота повинна бути більшою, ніж на сході. Це узгоджується і з резонансним ефектом черепа людини. Враховується при цьому і п'єзоефект кварцу (SiO_2), що входить до складу місячного реголіту. Кварц генерує електричний струм під впливом стиснення обваловки місячного поселення, а також підтримує постійність коливань (стабілізацію частоти). Як підсумок, кристали кварцу будуть генерувати ультразвук (зворотний п'єзоефект). При механічних деформаціях обвалування поселення, в першу чергу від удару метеорита, кварц буде генерувати радіохвилі на частотах, які можна умовно назвати «Голосом Всесвіту». Базові астрономічні явища на Місяці (4 основних точки на орбіті Землі при її обертанні навколо Сонця -- дні сонцестояння і рівнодення, та інші) викличуть генерацію таких імпульсів, які будуть виявлені як родинні до імпульсів ультразвуку, що видаються черепом людини. Ультразвукові коливання черепа людини та півсфери – модулі у складі місячного поселення, що виникають внаслідок слабких електричних струмів, що виникають у кремнії (який входить до складу реголіту обвалування місячного поселення) під впливом сонячних радіохвиль. Повинна враховуватися і серія інших супутніх явищ, які виникнуть в разі використання таких форм для створення місячного поселення, включаючи

короткочасні сплески радіоактивності в реголіті обвалування. Враховуватися в самій ідеї формоутворення місячного поселення.

Оскільки кожна геометрична форма пов'язана зі своїм звуком (нотою), не важко визначити звуки для модульних елементів місячного поселення в конкретному місці на поверхні нашого небесного супутника.

При створенні обвалованих поселень на Місяці неминучі ефекти появи інфразвуку. Він несприятливий для людини. Вплив на мозок низькочастотних коливань з частотою 13...25 Гц призводить до резонансу різних внутрішніх органів. Вплив з частотою 25 Гц протягом 30 хвилин викликає епілептичний напад. Вплив низькочастотних коливань, близьких до частот власних коливань органів людини, зокрема серця (6...12 Гц), може бути шкідливим та навіть смертельним. Управління цими та іншими енергоінформаційними явищами під час обвалування реголітом повинно проводитися шляхом підбору вертикальних і горизонтальних кутів нахилу її поверхні, управління висотами обвалування, його товщиною на різних ділянках, вбудовую в обвалування інших геометричних форм, які мають ефекти, що керують. При такому підході навіть вхід всередину обвалованої форми через циліндричний або тополойдний модуль-шлюз повинен розташовуватися на спеціально підібраній висоті від підлоги. Підбір проводиться в кожному місці локації поселення тільки стосовно особливостей енергетики цього місця, оскільки від місця до місця змінюються п'єзо-акустичні та інші властивості порід. У зв'язку з чим необхідно говорити про такий важливий інструментарій для створення місячних поселень, як **система підбудови** їх модульних елементів (півсфер, напівбочок та інших) під конкретне місце. Для цього необхідно варіювати не лише поверхнею модулів як таких, а й особливими

сітковидними структурами, що нагадують внутрішній каркас, закріплений на обваловці. Параметри осередків сіток, орієнтації осередків сіток в просторі, їх мультиплетність та інші морфічні особливості повинні працювати на цю ж задачу – задачу видозмінювання об'єкта під місце на Місяці. Сумарно всі ці внутрішні та зовнішні системи обвалування реголітом повинні нагадувати щось на зразок місячної «сорочки» для дистанційної акупунктури людини, відому спеціалістам з голковколлювання. Увесь цей комплекс компонентів обвалованого місячного поселення в рамках такої концепції буде являти собою спеціальний вібратор, що створює об'ємну модель енергетичних полів людини. Модель містить в собі ультразвукову та інші «портрети» членів екіпажу місячного поселення. В її екстремальних умовах «портрети», що створені на внутрішній поверхні модульної геометричної форми, роблять проєкцію себе у людину. Вона буде поєднуватися з цими ультразвуковими та іншими образами.

Коли з однотипних модульних полусфер-осциляторів сферичних та пелюстково-сферичних хвиль збирається форма, обрамлена мандорловидним абрисом (рис. 1, 2), їх взаємодія на енергоінформаційному рівні створює нові абрисы полів, генезис яких – інтерференція – взаємопроникнення сферичних хвиль від кожного осцилятора одна крізь одну. В зонах взаємопроникнення утворюються формимандорли, що сплітаються в нову просторову енергоінформаційну мережу, яка сама по собі буде ще одним генератором полів впливу на людину. На їх основі можна створювати різні просторові структури поселень, і кількість таких варіантів дуже велика. Всі вони повинні бути адаптованими під місце, обрані на основі аналізу «Єдиної геологічної карти Місяця», що розроблена Науковим центром астрогеології геологічної служби США, спільно з інженерами NASA. Карта створена для планування майбутніх місій. Для чого розроблено і стратиграфічний опис Місяця (зі структурами та віком гірських порід).

Крім того, у системі мандорл можна створити зони появи стоячих хвиль, які самі по собі будуть формоутворювальним явищем. Наприклад, при створенні поселень на основі принципу ваджри.

Ефект стоячих хвиль може бути створений за допомогою різних морфоструктурних прийомів. Наприклад, фактом включення в тривимірну композицію спрямованих в протилежні сторони полумандорл.

Вони на енергоінформаційному рівні самодобудовують себе до сферичної форми та, таким чином, мають як матеріальну частину, так і енергоінформаційну інтегральну форму, що добудовується до об'єкта з центральною осью симетрії, у тому числі – в полярній системі координат.

Роботи, проведені у 1994–1995 і у 2004 роках на дні Чорного моря за військовими пошуковими програмами під керівництвом і за безпосередньою участю В. В. Воробйова, з використанням підводного апарату «Лангуста» та суден військово-морського флоту України «ОС-6», «ОС-5» і «Ластівка» («Кам'янка»), а також у 2007 році з використанням підводного апарату «Риф» та водолазного судна «Почаїв» (допоміжного судна військово-морського флоту України) показали: всі матеріальні об'єкти фізичного світу, що знаходяться у видимому людиною діапазоні, фактом свого існування самодобудовують себе на енергоінформаційному рівні до об'єктів з повною симетрією в полярних системах координат, або інших систем координат. Це було підтверджено і в ході проведення робіт за байкальською програмою «Ноосферне Майбутнє Людства». Більш того, будь-який фізичний фрагмент, навіть дуже малого розміру, від колишнього колись фізично цілого виробу, теж добудовує себе до цілого об'єкта, але – на енергоінформаційному рівні. І сканується як повноцінний фізичний об'єкт, що вводить в оману операторів пошуку.

Полумандорли утворюють між собою зону своєї нібито незримой збіжності

тавзаємопроникнення також за типом мандорли. Цікаво відзначити, що фактом цього ефекту вони народжують два осцилятори, які є центрами кіл, фрагментами яких і є дві полумандорли з розворотом дуг у протилежні сторони. При цьому не має ніякого значення, чи існують у цьому місці фізичні осцилятори, у вигляді випуклостей рельєфу або, навпаки, центрів місячних цирків. Включаючи центри у вигляді конусоподібних піків (рис. 2, 3).

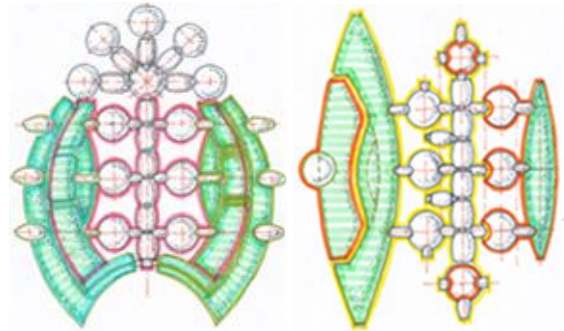


Рис. 1. Приклади поселень з ефектом форм – мандорл (показані різними відтінками зеленого кольору), що є обвалованими оранжерейними та іншими вітальними комплексами життєзабезпечення екіпажів місячного поселення. У верхній частині плану місячного поселення присутня зонтична структура формоутворення, у вигляді зірчастої композиції, що є однією з різновидів антенного підходу до таких об'єктів. Всі структури підбираються під конкретне місце, на основі комбінаторики сил, що діють в даному ареалі

У разі розміщення поселень всередині місячного цирку ударного типу, незалежно від його діаметра та висоти, що завжди має в центрі маскони – зону ущільнення і більш міцного ґрунту, оскільки це – ударний кратер, (є також кратери та вулканічного походження) необхідно враховувати, що фізичний цирк – це усічений конус. На енергоінформаційному рівні він само добудовує себе до повного конуса вгору і, одночасно, само створює, за принципом дзеркальної симетрії, перекинутий енергоінформаційний конус вершиною вниз, до центру Місяця. Утворюється свого роду «дзига». По висоті прямого та перекинутого конуса в цирку, у його внутрішньому обсязі, миттєво виникає особлива модель поляризації (обурення) простора, що включає пояси різної якості та кулясті зони з різними властивостями, розташованими вздовж осі

обертання «дзиги». В окремих випадках енергоінформаційний конус (конус обурення простору) стосовно конуса вершиною вгору до зірок, має інший розмір – пов'язаний золотою пропорцією. Це означає, що енергоматриця поселення почне взаємодіяти із само добудованими формами конуса та їх поляризаційними ефектами. А також з іншою групою енергоінформаційних прямих – потоків на поверхні конуса, що сходять у зеніт та протилежних, які опускаються донизу. А також з особливим енергоінформаційним структурним елементом, що виникає біля основи конуса у вигляді морфічного об'єкта, що нагадує акреційний диск в діаметрі.

Все сказане відноситься і до перекинутого конуса. Властивості вертикальної осі обох конусів є особливою зоною генерації вихрових потоків, що сходять вгору та спускаються донизу. Правила обліку осі в структурному наповненні просторів місячного поселення включають вимоги його абсолютного зберігання.

Крім того, кільцевий вал будь-якого цирку – з позиції форми – досить пориста сітчаста структура, через що фактом сітки вона створює цілу серію своїх енергоінформаційних поляризацій середовища. Наприклад, вона є акустичною растровою сіткою, для якої необхідна інша топологія об'єктів, що будуються.

До великих ударних басейнів (низинам) на Місяці відносяться море Дощів, море Ясності, море Криз, Сміта та Східне. А також басейн Південний полюс – Ейткен, в якому розташовані точки рельєфу з найменшою висотою.

Під морями округлої форми є маскони, що викликають позитивні гравітаційні аномалії.

Це Моря Дощів, Хмар, Ясності, Східне, а також область між затокою Спеки та Центральною затокою. Маскони поляризовані за поясами. Поселення на масконі вимагають особливих варіантів поляризації. Гравітаційні обурення в зоні

масконів, що утворюють власні енергоінформаційні форми, відхиляють поляризаційні енергоінформаційні форми у внутрішньому та зовнішньому просторі місячного поселення.

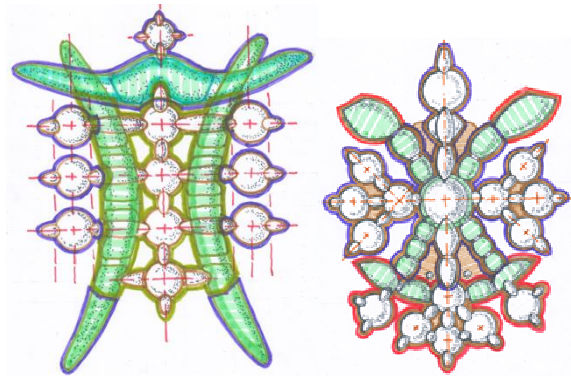


Рис. 3. Приклади місячних поселень на основі обвалованих модульних елементів, у складі яких – полумадорли, розвернуті одна до одної в протилежні сторони. Оранжеві комплекси повинні формуватися на основі реалізації принципів біорегенеративного суспільства, що здатне самостійно відтворювати життєво необхідні ресурси, у тому числі продовольство, електрику та кисень

При створенні формотворчих ефектів поселень необхідно взяти до уваги та те, що зворотна сторона Місяця більше поцяткована кратерами, кора, імовірно, тонша, а мантія розташована ближче до кори та більш щільна. Це впливає на всі ефекти обурення просторів в різних точках на поверхні Місяця. Що теж необхідно включити до числа факторів, що впливають на формоутворення місячного поселення.

Гравітаційне поле Місяця неоднорідне.

Енергоінформаційний кокон людини, його біополе в одних місцях буде витягнутися вгору, в інших – сплющуватися, що вимагатиме різних морфоефектів обвалування місячних поселень і відповідно, їх різних висот та розмірів в плані. Біополевий кокон не повинен розрізатися конструкціями півсфер та інших модульних елементів у складі місячного поселення.

На видимій стороні Місяця є позитивні гравітаційні аномалії у вигляді чітких плям. На зворотному боці Місяця позитивні та негативні гравітаційні аномалії розкидані у вигляді концентричних кілець по поверхні.

Все це говорить про те, що для пошуку місць розміщення поселень на Місяці, її поверхня повинна бути диференційована за принципами придатності для різних видів діяльності та за підходами до формоутворення.

Підвищення на зворотному боці Місяця в середньому на 1,9 км вище, ніж на видимій стороні. Це означає, що поляризаційні ефекти на видимій і невидимій стороні Місяця помітно різняться. Окремо стоять зони Північного та Південного поясу Місяця, де не можна будувати розпластані по ґрунту поселення. Їх тут доведеться зводити у вигляді вертикальних, високо піднятих комплексів. Що не поєднується з ідеями обвалування. Вона стає не реальною. Або повинна створюватися на основі технологій, що виключають осипання реголіту, або перетворюють його в якусь подобу «шуби» товщиною у два метри.

Головним плюсом полюсів є те, що тут є у великій кількості вода, у вигляді льоду. Вода є і в інших місцях, але у меншій кількості. Наприклад, в кратері Шеклтон на Південному полюсі Місяця, за оцінками експертів, найбільший запас води на поверхні Місяця. Тому, боротьба за місце навколо полюсів, мабуть, буде схожою на боротьбу за шельфи на Землі.

Але це – вже інша, не технічна частина проблеми освоєння нашої найближчої космічної сусідки. Таких проблем теж багато: міжнародно-правові, економічні, технологічні, організаційні, медичні та інші. Само собою освоєння планет завжди було і буде пов'язане з системами математичних правил, що лежать в основі переформування того чи іншого космічного тіла. Математичні основи будуть мати місце і в процесах формоутворення поселень.

Згідно з Платоном, пізнання Космосу, суспільства та людини пов'язане з відповідними числовими співвідношеннями й обґрунтовується геометрично. Платон стверджує, що окремі люди та людське суспільство можуть знайти досконалість лише при

досягненні рівномірної або «рівносторонньої, квадратної» гармонії.

Довгі числа виражають неправомірність, неправильність розвитку.

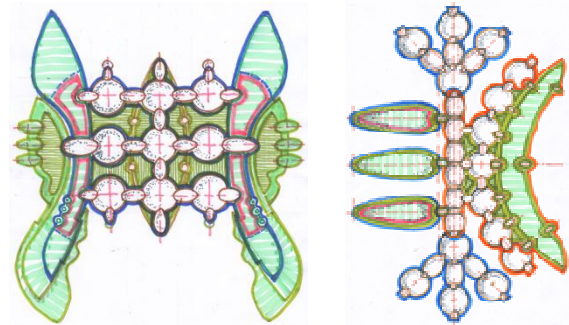


Рис. 4. Гібридні варіанти формоутворення місячного поселення на основі поєднання кількох морфічних принципів. Серед них – форма «сітка» (зліва) – створена під вид діяльності, на основі дев'яти ядерної ортофібули, що складається з кардинальної та мутабельної частини – виду комплексу, що антенує, з дев'яти півсфер, кожна з яких має свої якості

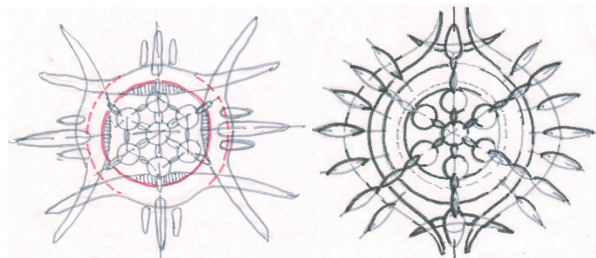


Рис. 5. В основі населеної частини поселення – гексагон, як фрактал осередку Великої Сітки Всесвіту. Навколо – оранжеві комплекси життєзабезпечення на основі мандорловидних форм

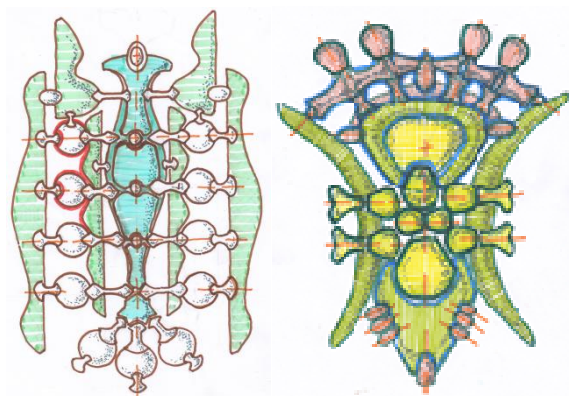


Рис. 6. Приклади формоутворення місячних поселень на основі врахування топологічних ефектів

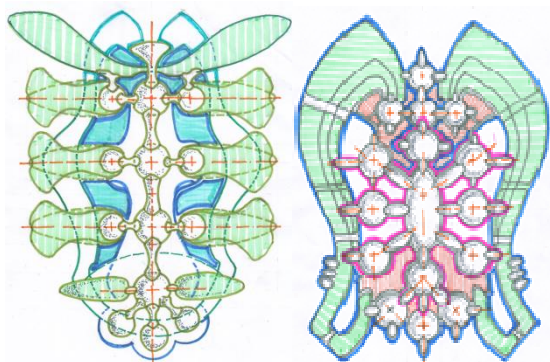


Рис. 7. Варіанти формоутворення місячних поселень, що антенують, на основі відбору проєкцій заданих елементів Великої Космічної Сітки

Ідеальні міста епохи Відродження створювали решітки генеральних планів з урахуванням цього правила. Як елемент ідеальної взаємодії з енергоінформаційною анатомією людини та растровою системою її скелета. Растрові записи космічних кодів на кістках людини, що потрапила на Місяць, при впливі нової матриці векторів космічних сил дадуть растрограму (портрет) рефлексій людини в нових умовах, що і буде основою формоутворення місцевих поселень землян. Застосувавши алгоритм приведення хаотичного розподілу до гармонії, виходимо на 9 елементів у презентованій Платоном структурі. Або – квадрат з дев'ятьма вузлами (3 ряди по 3 модульних однотипних елементів).

По суті, в основі цього явища лежить облік основних точок руху будь-якої планети своєю орбітою – будь вона навколо зірки або навколо більшої планети. Оскільки рух орбітою – це не плоска двовимірна версія, а щось на зразок тривимірного бурова, народженого польотом Сонця та його планет в просторі Нашої Галактики, та точки рівнодення і сонцестояння, а також чотири точки в секторах між ними, це – свого роду станції перезавантаження життєвих процесів в людському організмі.

Разом з самим Сонцем, вони створюють дев'яти вузлову систему, яку у спрощеному вигляді стародавні мудреці записали у коди Мандали. Вона стала свого роду космічними «будівельними

нормами та правилами» для створення поселень на будь-якій планеті. Питання лише у необхідності визначення частоти та довжини хвиль у матрицях космічних сил цієї планети, та визначення на їх основі свого варіанту прояви формоутворення поселення.

Космічне поняття «Дев'ять крапок» у фізичній реальності містить в собі та проєкції просторів з великим числом вимірів. Знаючи, які вимірювання проєктуються в дану точку на поверхні конкретної планети, можна визначити та адекватні вібраціям вимірювання геометричні абрисы поселення. Іншими словами «Дев'ять крапок» насправді є багатомірним, і з цієї точки зору число його елементів буде вже іншим. Інтегрально ця інформація міститься в багатовимірній багатосітковидній морфологічній структурі Всесвіту.

Відповідно до сучасних досліджень, Всесвіт являє собою голограму або набір мультипланетних решіток (що зветься Великою Космічною Сіткою, відомою у Стародавніх Ведах як Мережа Індри, з якої стародавні зодчі та вивели принципи Мандали), осередків, з яких побудовані мікрота макрокосмос, ДНК та галактики.

Сучасні пара комп'ютери, що працюють на основі мултирешіткості, тобто за принципом морфологічної будови Всесвіту, дозволяють моделювати та варіанти формоутворення поселень на Місяці. Варіанти, які відтворюють так звану «музику безмовності простору», що входять в резонанс з людським організмом.

Висновки

Архітектурні аспекти формоутворення обвалованих комплексів, придатних для життя, на Місяці включають:

- базові «ефекти форми» («морфічного поля»);
- вплив геометрії простору на психофізіологію, працездатність, вид діяльності в цей момент простору та часу;
- принцип нелокальності, що створюється кожною архітектурною та містобудівною формою, їх конфігурацією за фактом свого існування;
- формоутворення поселення та його елементів на основі фракталізації структури

Всесвіту, включаючи морфологічну відповідність верствам і циклам розвороту та згортання Всесвіту;

- не технічні технології – технології геометрії форм, багатовимірні технології;

- матриці векторів сил, що діють у конкретному місці та часі на Місяці – елемент морфічного резонансу у системі «Земля – Місяць – геометрична форма «точки» на поверхні, обраної для поселення землян – геометрія форми поселення – людина – Сонце – ядро Нашої Галактики, що створюють основу антенуючого проектування;

- геометричну форму місячного поселення як пристрою змін якості людського організму та його психосфери з метою досягнення Єдності зі Всесвітом;

- принципи проєкції в задану «точку» на Місяці систем, необхідних для роботи з просторово-часовим континуумом;

- вихідні форми-модулі для створення місячного поселення: купол, напівбочка, бочка, циліндр, яйцеподібна півсфера, мандорла і напівмандорла;

- збірка вихідних форм в єдиний комплекс поселень – на основі вище перерахованих положень;

- корекція геометрії вихідних форм-модулів відповідно до умов майданчика будівництва місячного поселення;

- планування приміщень кожної вихідної форми-модуля на основі центральноосової симетрії з обов'язковим збереженням вільної серединної зони – вертикальної осі, а також з урахуванням епюр просторової поляризації внутрішнього обсягу форми-модуля;

- ефект енергоінформаційної самобудови всіх не симетричних фізичних форм до повної форми, з генерацією нових матриць обурення простору, які почнуть взаємодіяти з колишніми матрицями;

- тополоїдні ефекти (ефекти псевдосфери Лобачевського);

- п'єзо- та інші енергетичні ефекти, що виникають в обваловці місячного поселення;

- вживлення в обваловку сітковидних та інших структур підбудованих під так званий «Голос Безмовності» вібратор створення об'ємної моделі енергетичних полів людини;

- форми цирків, морів, масконів;

- рівносторонню квадратну гармонію з урахуванням у ній особливостей орбітального руху Місяця, Землі, Сонця на просторах Галактики;

- Велику Космічну Сітку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анисимова В. Циклы, периоды, ритмы космоса. Проза.ру: веб-сайт. URL: <https://proza.ru/2015/12/20/1009> (дата обращения: 27.09.2021).

2. Биологические эффекты электромагнитных полей. Вопросы их использования и нормирования. ИБФ АН СССР. Пущино. НЦБИ, 1986.

3. Ханцеверов Ф. Р., Масленников А. В., Левченко В. Н., Орлов А. А., Землицкий М. Я. Введение в науку о феноменах и процессах энергоинформационного обмена в природе и обществе. *Непериодические быстротекающие явления в окружающей среде: докл. Второй Всесоюзной междисц. науч.-техн. школы-семинара*. 19-29 апреля 1990. Томск, 1990. С. 297–307.

4. Введение в физику многомерного пространства. *Журнал*. URL: http://samlib.ru/z/zabirko_w_s/wwedeniewfizikumnogomernogoprostranstwa.shtml (дата обращения: 27.09.2021)

5. Веды о строении Вселенной и истории человечества. URL: https://alexfl.ru/vechnoe/vechnoe_vse.html (дата обращения: 27.09.2021)

6. Вся вселенная в числе Пи. *Abitu.net* URL: <https://abitu.net/articles/296/album> (дата обращения: 27.09.2021)

7. Джан Р. Г. Нестареющий парадокс психофизических явлений. *Инженерный подход: тр. ин-та инженеров электротехники и радиоэлектроники*. 1982. Т. 70, вып. 3.

8. Ханцеверов Ф. Р., Масленников А. В., Левченко В. Н., Орлов А. А. Естественнаучные концептуальные основы, прикладные и организационные аспекты эниологии. *Научный отчет № 89-13. Ассоциация ЭНИО*, 1989.

9. 9 проектов, которые могут изменить представление о Луне. *Архисфера. Архитектура, дизайн, строительство, недвижимость*. URL: <https://archisfera.ru/obzory/9-proektov-kotorye-mogut-izmenit-predstavlenie-o-lune/>

10. За пределами Стандартной модели. Элементы: веб-сайт. URL : <https://elementy.ru/LHC/HEP/SM/beyondSM> (дата обращения: 27.09.2021).
11. Казначеев В. П., Михалкова Л. П. Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей. Новосибирск: Наука, 1985. 181 с.
12. Книги мои по достоинству еще не оценены (к 145-летию со дня рождения А. И. Клизовского). *Грани сердца*. Путь в будущее – путь сердца: веб-сайт. URL: <https://graniserdca.by/knigi-moi-po-dostoinstvu-eshhe-ne-oceneny-k-145-letiyu-so-dnya-rozhdeniya-a-i-klizovskogo/> (дата обращения: 27.09.2021).
13. Лескова Н. Мы живем в многомерном мире. *В мире науки*. 2017. № 4. URL: <http://www.ras.ru/digest/showdnews.aspx?id=ac9b22f4-436c-42fa-b2c6-af4ba46e286f> (дата обращения: 27.09.2021).
14. Научно-исследовательский институт прикладной Эниологии. *Сурма. Козацький журнал*: веб-сайт. URL: <https://surmasite.wordpress.com/2017/11/04/%D0%BD%D0%B0%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%BE-%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9-%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82-%D0%BF/> (дата обращения: 27.09.2021).
15. Некоторые вопросы объемно-пространственного решения сооружений на Луне. 1967. Tehne.com: веб-сайт. URL: <http://tehne.com/event/arhivsyachina/nekotorye-voprosy-obemno-prostranstvennogo-resheniya-sooruzheniy-na-lune-1967> (дата обращения: 27.09.2021).
16. Массер Джорж Нелокальность. Элементы: веб-сайт. URL: https://elementy.ru/bookclub/chapters/434062/Nelokalnost_Glava_iz_knigi (дата обращения: 27.09.2021)
17. Полякова О. О. Типы астрономических планировок в археологических памятниках (методологические аспекты). *Комплексные исследования древних и традиционных обществ Евразии*: сб. науч. тр. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2004. С. 197–203.
18. Прецессионная, цикличная, глобальная смена климата на Земле. Компьютер. Легендарный журнал о современных технологиях: веб-сайт. URL: <https://www.computerra.ru/241714/pretsessionnaya-tsiklichnaya-globalnaya-smena-klimata-na-zemle/> (дата обращения: 27.09.2021).
19. Принцип неопределенности Гейзенберга. Элементы: веб-сайт. URL : https://elementy.ru/trefil/21096/Printsip_neopredelennosti_Geyzenberga (дата обращения: 27.09.2021).
20. Проекты лунных баз: вчера и сегодня. Хабр: веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/post/384095/> (дата обращения: 27.09.2021).
21. Кикот Д. Секреты синхронизации электромагнитных полей Земли и живого организма. Хабр: веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/501524/?> (дата обращения: 27.09.2021).
22. Физика в рамках Стандартной модели. СПбГУ: веб-сайт. URL: <http://hep.spbu.ru/index.php/ru/about/61-standard-model-ru> (дата обращения: 27.09.2021).
23. Фрактальная геометрия Вселенной. Zhitanska.com. Тайны древних цивилизаций: веб-сайт. URL: <https://zhitanska.com/content/fraktalnaya-geometriya-vselennoj/> (дата обращения: 27.09.2021).
24. Шелдрейк Р. Новая наука о жизни. Москва: РИПОЛ классик, 2005. 352 с. URL: <https://www.litmir.me/br/?b=120857> (дата обращения: 27.09.2021)
25. Шумановские резонансы. ГеоЦентр: веб-сайт. URL: <https://geocenter.info/monitoring/schumann> (дата обращения: 27.09.2021).
26. 3D строительство на Луне и на Марсе. Ispaceman: веб-сайт. URL: <https://www.ispaceman.ru/3d-stroitelstvo-na-lune-i-na-marse> (дата обращения: 27.09.2021).

REFERENCES

1. Anisimova V. *Cikly, periody, ritmy kosmosa* [Cycles, periods, rhythms of the space]. URL: <https://proza.ru/2015/12/20> (in Russian).
2. *Biologicheskie efekty elektromagnitnyh polej. Voprosy ih ispol'zovaniya i normirovaniya* [Biological effects of electromagnetic fields. Issues of their use and rationing]. USSR Institute of Cell Biophysics – Pushchino. Research Centre for Biological Research, 1986 (in Russian).
3. Khantseverov F.R., Maslennikov A.V., Levchenko V.N., Orlov A.A. and Zemlitsky M.Ya. *Vvedenie v nauku o fenomenah i processah energoinformacionnogo obmena v prirode i obshchestve* [Introduction to the Science of the Phenomena and Processes of Energy-Information Exchange in Nature and Society]. *Neperiodicheskie bystroprotekayushchie yavleniya v okruzhayushchej srede: doklady Vtoroj Vsesoyuznoj mezhdisciplinarnoj nauchno-tekhnicheskoy shkoly-seminara* [Non-periodic and short-lived phenomena in the environment: Reports of the Second All-Soviet Union Interdisciplinary Scientific and Technical Seminar School]. April 19–29, 1990, Tomsk, pp. 297–307 (in Russian).
4. *Vvedenie v fiziku mnogomernogo prostranstva. Zhurnal* [Introduction to the Physics of Multidimensional Space. Magazine]. URL: http://samlib.ru/z/zabirko_w_s/wvedeniiefizikumnogomernogoprostranstva.shtml (in Russian).
5. *Vedy o stroenii Vselennoj i istorii chelovechestva* [The Vedas on the Structure of the Universe and Human History] URL: https://alexfl.ru/vechnoe/vechnoe_vse.html (in Russian).

6. *Vsya vseleennaya v chisle Pi* [The Entire Universe in a Number of Pi]. URL: <https://abitunet/articles/296/album> (in Russian).

7. Dzhhan R.G. *Nestareyushchij paradoks psichofizicheskikh yavlenij: Inzhenernyj podhod* [The Timeless Paradox of Psychophysical Phenomena. An Engineering Approach]. *Trudy instituta inzhenerov elektrotekhniki i radioelektroniki* [Works of the Institute of Electrical and Electronic Engineers]. Vol. 70, iss. 3, 1982 (in Russian).

8. Khantseverov F.R., Maslennikov A.V., Levchenko V.N. and Orlov A.A. *Estestvennonauchnye konceptual'nye osnovy, prikladnye i organizacionnye aspekty Eniologii* [Natural Science Conceptual Framework, Applied and Organisational Aspects of Eniology]. *Nauchnyj otchet № 89-13. Associaciya ENIO* [Scientific report no. 89-13. ENIO Association]. 1989 (in Russian).

9. *9 proektov, kotorye mogut izmenit' predstavlenie o Lune* [9 projects that could change the view of the Moon]. *Zhurnal ob arhitekture, stroitel'stve i dizajne* [A Magazine about Architecture, Building and Design]. URL: <https://archisfera.ru/obzory/9-proektov-kotorye-mogut-izmenit-predstavlenie-o-lune/> (in Russian).

10. *Za predelami Standartnoj modeli* [Beyond the Standard Model]. *Elementy* [Elements]. URL: <https://elementy.ru/LHC/HEP/SM/beyondSM> (in Russian).

11. Kaznachejev V.P. and Mikhaylova L.P. *Bioinformacionnaya funkciya estestvennykh elektromagnitnykh polej* [Bioinformation Function of Natural Electromagnetic Fields]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985, 181 p. (in Russian).

12. *Knigi moi po dostoinstvu yeshche ne otseneny. K 145-letiyu so dnya rozhdeniya A. I. Klizovskogo* [My books are not yet appreciated. Dedicated to the 145th anniversary of the birth of A.I. Klizovsky]. URL: <https://graniserdca.by/knigi-moi-po-dostoinstvu-eshhe-ne-oceneny-k-145-letiyu-so-dnya-rozhdeniya-a-i-klizovskogo/> (in Russian).

13. Leskova N. *My zhivem v mnogomernom mire* [We live in a multi-dimensional world]. *V mire nauki* [In a world of science]. 2017, no. 4. URL: <http://www.ras.ru/digest/showdnews.aspx?id=ac9b22f4-436c-42fa-b2c6-af4ba46e286f> (in Russian).

14. *Nauchno-issledovatel'skij institut prikladnoj Eniologii* [Research Institute of Applied Eniology]. URL: <https://surmasite.wordpress.com/2017/11/04/%D0%BD%D0%B0%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%BE-%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9-%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82-%D0%BF/> (in Russian).

15. *Nekotorye voprosy ob "emno-prostranstvennogo reSheniya sooruzhenij na Lune* [Some questions of volumetric and spatial solution of structures on the Moon]. 1967. URL: <http://tehne.com/event/arhivsyachina/nekotorye-voprosy-obemno-prostranstvennogo-resheniya-sooruzheniy-na-lune-1967> (in Russian).

16. Masser George *Nelokal'nost'. Glava iz knigi* [Non-locality. Chapter from the book]. URL: https://elementy.ru/bookclub/chapters/434062/Nelokalnost_Glava_iz_knigi (in Russian).

17. Polyakova O.O. *Tipy astronomicheskikh planirovok v arheologicheskikh pamyatnikah (metodologicheskie aspekty)* [Types of Astronomical Layouts in Archaeological Sites (Methodological Aspects)]. *Kompleksnyye issledovaniya drevnih i tradicionnykh obshchestv Evrazii: sbornik nauchnykh trudov* [Complex Studies of Ancient and Traditional Societies of Eurasia. Coll. of Sc. Papers]. Barnaul: Altai University Press., 2004, pp. 197–203 (in Russian).

18. *Pretsessionnaya, tsiklichnaya, global'naya smena klimata na Zemle* [Precessional, cyclical, global climate change on Earth]. Computer. Legend Journal about Modern technologies: web-site. URL: <https://www.computerra.ru/241714/pretsessionnaya-tsiklichnaya-globalnaya-smena-klimata-na-zemle/> (in Russian).

19. *Princip neopredelennosti Gejzenberga* [Heisenberg Uncertainty Principle]. Elements: web-site. URL: https://elementy.ru/trefil/21096/Printsip_neopredelennosti_Geyzenberga (in Russian).

20. *Proekty lunnyh baz: istoriya* [Lunar Base Projects: History]. Khabr: web-site. URL: <https://habr.com/ru/post/384095/> (in Russian).

21. Kikot D. *Sekrety sinkhronizatsii elektromagnitnykh polej Zemli i zhivogo organizma* [Secrets of synchronization of the electromagnetic fields of the Earth and a living organism]. Khabr: web-site. URL: <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/501524/> (in Russian).

22. *Fizika v ramkah Standartnoj modeli* [Physics within the Standard Model]. St-PbGU: web-site. URL: <http://hep.spbu.ru/index.php/ru/about/61-standard-model-ru> (in Russian).

23. *Fraktal'naya geometriya Vselennoj* [The Fractal Geometry of the Universe]. Zhitanska.com. Secrets of ancient civilizations: web-site. URL: <https://zhitanska.com/content/fraktalnaya-geometriya-vselennoj/> (in Russian).

24. Sheldrake R. *Novaya koncepciya zhizni* [A New Science of Life]. Moscow: RIPOL Classic, 1985, 352 p. URL: <https://www.litmir.me/br/?b=120857> (in Russian).

25. *Shumanovskie rezonansy onlajn* [Schumann Resonances online]. GeoCentre: web-site. URL: <https://geocenter.info/monitoring/schumann> (in Russian).

26. *3D stroitel'stvo na Lune i na Marse* [3D Construction on the Moon and Mars]. Ispaceman: web-site. URL: <https://www.ispaceman.ru/3d-stroitelstvo-na-lune-i-na-marse> (in Russian).

Надійшла до редакції: 02.11.2021.

УДК 69.032.22:658.512.4

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.47.813

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ УМОВ СПОРУДЖЕННЯ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАРІАНТІВ ПРОЄКТНИХ І ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

КРАВЧУНОВСЬКА Т. С.^{1*}, докт. техн. наук, проф.,

ЗАЯЦЬ Є. І.², докт. техн. наук, проф.,

КОСОЛАПОВ А. Ф.³, канд. техн. наук, доц.,

МАРТИШ О. О.⁴, канд. техн. наук, доц.,

ДЬЯЧЕНКО Л. Ю.⁵, канд. техн. наук, доц.

^{1*} Кафедра організації і управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: kts789d@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

² Кафедра організації і управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: zei83dici@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

³ Кафедра геолозії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (056) 373-07-69, e-mail: sgm@sgm.org.ua, ORCID ID: 0000-0001-8931-0352

⁴ Кафедра організації і управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: martysh.oleksandr@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4499-2278

⁵ Кафедра організації і управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: diachenko.larysa@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

Анотація. Постановка проблеми. При проєктуванні сучасних висотних будівель до пріоритетних завдань належать: зменшення енергоспоживання, підвищення рівня комфорту, безпеки, ефективності та екологічності. Тому актуальним є завдання створення інструментарію оцінювання тривалості і вартості спорудження висотних будівель, із урахуванням ймовірнісних впливів мінливого зовнішнього середовища, ресурсних обмежень проєкту та дотриманням сучасних вимог до об'єктів будівництва щодо енергоефективності, безпечності, якості та екологічності об'єктів, призначеного, перш за все, для потреб замовників, інвесторів. **Мета статті.** Розроблення методичного підходу до оцінювання умов спорудження висотних будівель та обґрунтування ефективності варіантів проєктних і організаційно-технологічних рішень. **Висновок.** На сьогодні відсутній єдиний підхід до розроблення проєктних і організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель, із урахуванням вимог до якості, енергоефективності, безпечності та екологічності об'єктів за наявних ресурсних обмежень. Застосування такого інструментарію при оцінюванні, аналізі, обґрунтуванні і виборі раціональних проєктних та організаційно-технологічних рішень дозволить підвищити якість споруджуваних висотних будівель при ефективному використанні ресурсів і одночасному зниженні несприятливих впливів на довкілля завдяки врахуванню комплексного впливу визначальних організаційно-технологічних, технічних та управлінських факторів для мінімізації негативного впливу дестабілізуючих чинників у процесі проєктування і виконання будівельних робіт. Розроблений методичний підхід до оцінювання умов спорудження висотних будівель та обґрунтування ефективності варіантів проєктних і організаційно-технологічних рішень призначений для замовників, інвесторів, а також може бути використаний підрядниками, органами державного управління та місцевого самоврядування, зокрема при формуванні договірних відносин і проведенні підрядних торгів.

Ключові слова: організаційно-технологічні рішення; висотна будівля; тривалість; вартість; якість, енергоефективність, безпечність, екологічність

METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSING THE CONDITIONS FOR THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS AND SUBSTANTIATING THE EFFECTIVENESS OF OPTIONS FOR DESIGN AND ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS

KRAVCHUNOVSKA T.S. ^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
ZAIATS Ye. I. ², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KOSOLAPOV A.F. ³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
MARTYSH O.O. ⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
DIACHENKO L.Yu. ⁵, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

^{1*} Department of organization and management of civil engineering, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskoho str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-33-66, e-mail: kts789d@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

² Department of organization and management of civil engineering, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskoho str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-33-66, e-mail: zei83dici@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

³ Department of geodesy, National Technical University «Dnipro University of Technology», 19, Dmytra Yavornytskoho av., Dnipro 49005, Ukraine, phone +38 (056) 373-07-69, e-mail: sgm@sgm.org.ua, ORCID ID: 0000-0001-8931-0352

⁴ Department of organization and management of civil engineering, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskoho str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-33-66, e-mail: martysh.oleksandr@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4499-2278

⁵ Department of organization and management of civil engineering, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskoho str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-33-66, e-mail: diachenko.larysa@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

Abstract. Raising of problem. When designing modern high-rise buildings, the priority tasks are: reducing energy consumption, increasing the level of comfort, safety, efficiency and environmental friendliness. Therefore, the urgent task is to create a toolkit for assessing the duration and cost of erecting high-rise buildings, taking into account the probabilistic effects of a changeable external environment, resource constraints of the project and compliance with modern requirements for construction facilities regarding energy efficiency, safety, quality and environmental friendliness of facilities, designed primarily for the needs of customers, investors. **Purpose of the article.** Development of a methodological approach to assessing the conditions for the construction of high-rise buildings and substantiating the effectiveness of options for design and organizational and technological decisions. **Conclusion.** To date, there is no unified approach to the development of design, organizational and technological decisions for the construction of high-rise buildings, taking into account the requirements for quality, energy efficiency, safety and environmental friendliness of facilities with existing resource constraints. The use of such tools in the assessment, analysis, substantiation and selection of rational design and organizational and technological decisions will improve the quality of high-rise buildings being erected with the efficient use of resources and at the same time reducing adverse environmental impacts by taking into account the complex impact of determining organizational, technological, technical and management factors for minimizing the negative impact of destabilizing factors in the design and production of construction work. The developed methodological approach to assessing the conditions for the construction of high-rise buildings and substantiating the effectiveness of options for design and organizational and technological decisions is focused on customers, investors, and can also be used by contractors, government bodies and local governments, in particular when forming contractual relations and holding contract auctions.

Keywords: *organizational and technological decisions; high-rise building; duration; cost; quality, energy efficiency, safety, environmental friendliness*

Постановка проблеми. При проектуванні сучасних висотних будівель до пріоритетних завдань належать: зменшення енергоспоживання, підвищення рівня комфорту, безпеки, ефективності та екологічності [4–8].

В зв'язку з цим на сьогодні актуальним є завдання розроблення методу оцінювання, аналізу, обґрунтування і вибору раціональних проектних та організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель за критеріями тривалості і вартості, із урахуванням ймовірнісних впливів мінливого зовнішнього середовища,

ресурсних обмежень проекту та дотриманням сучасних вимог до об'єктів будівництва щодо енергоефективності, безпеки, якості і екологічності, основними користувачами якого будуть замовники та інвестори.

Аналіз публікацій. За результатами аналізу наукових досліджень Д. Ф. Гончаренка [1], Є. І. Зайця [2], Д. О. Чернишева [3] та інших [4–8], присвячених світовому досвіду висотного будівництва та обґрунтуванню доцільності його застосування при розробленні і реалізації проектів спорудження висотних

будівель в умовах вітчизняного девелопменту, встановлено, що на сьогодні відсутній єдиний підхід до розроблення проєктних і організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель, із урахуванням вимог до якості, енергоефективності, безпечності та екологічності об'єктів за наявних ресурсних обмежень. Застосування такого інструментарію при оцінюванні, аналізі, обґрунтуванні і виборі раціональних проєктних та організаційно-технологічних рішень дозволить підвищити якість споруджуваних висотних будівель при ефективному використанні ресурсів і одночасному зниженні несприятливих впливів на довкілля завдяки врахуванню комплексного впливу визначальних організаційно-технологічних, технічних та управлінських факторів для мінімізації негативного впливу дестабілізуючих чинників у процесі проєктування і виконання будівельних робіт.

Метою статті є розроблення методичного підходу до оцінювання умов спорудження висотних будівель та обґрунтування ефективності варіантів проєктних і організаційно-технологічних рішень.

Результати досліджень. Обґрунтування проєктних та організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель засноване на визначенні техніко-економічних показників проєктів, до найважливіших серед яких належать тривалість і вартість, при розрахунку яких необхідно враховувати комплексний вплив визначальних організаційно-технологічних, технічних та управлінських факторів, із урахуванням умов будівництва, вимог до енергоефективності, безпечності, якості та екологічності об'єктів і прийнятного рівня ризику, а також можливості коригування рішень, що розглядаються, з метою забезпечення заданих ресурсних обмежень.

Сутність розробленої методики оцінювання умов спорудження висотних будівель та обґрунтування ефективності варіантів проєктних і організаційно-

технологічних рішень із виконання будівельних робіт при заданих ресурсних обмеженнях представлено на рисунку.

Запропонований підхід передбачає формування множини вихідних даних, множини вимог і обмежень щодо отримання та застосування очікуваного результату, з урахуванням наявних ресурсних обмежень, вимог до енергоефективності, безпечності, якості та екологічності об'єктів, а також прийнятного рівня ризику.

Такий підхід дозволяє здійснювати коригування проєктних і організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель для забезпечення наявних ресурсних обмежень шляхом поступового наближення до заданих умов.

Коригування рішень здійснюється покроково, до тих пір, поки не буде досягнуто балансу між вимогами замовника та можливостями підрядника.

Вхідними даними для обґрунтування проєктних і організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель за запропонованою методикою є наступні:

- функціональне призначення будівлі;
- конструктивна система;
- матеріал несучих конструкцій;
- конфігурація будівлі в плані;
- об'ємна форма будівлі;
- максимальна висота будівлі;
- умовна висота будівлі;
- кількість поверхів будівлі, в тому числі технічних поверхів;
- загальна площа будівлі;
- будівельний об'єм будівлі;
- площа земельної ділянки та площа забудови;
- стисненість будівельного майданчика;
- вимоги щодо теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій;
- вимоги щодо споживання енергетичних ресурсів інженерними системами;
- вимоги щодо безпечності території та висотної будівлі;
- вимоги щодо екологічності зовнішнього та внутрішнього середовища висотної будівлі.

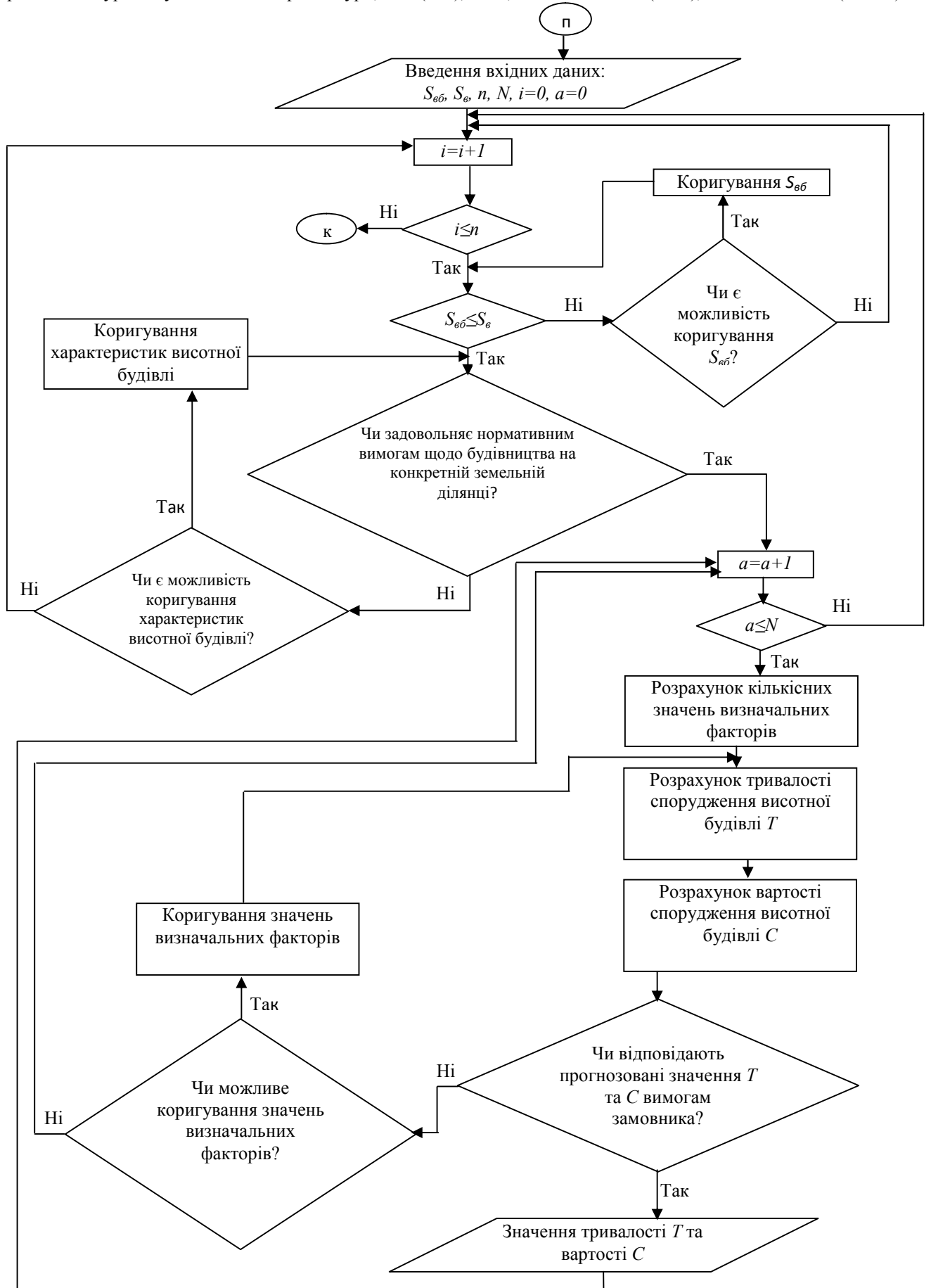


Рис. Послідовність обґрунтування раціональних проектних і організаційно-технологічних рішень спорудження висотних будівель

За запропонованою методикою спочатку необхідно оцінити можливість розміщення висотної будівлі на конкретній земельній ділянці. Для цього порівнюється площа забудови висотної будівлі ($S_{вб}$) з площею вільних ділянок міських територій, які потенційно можуть бути використані для розміщення нової висотної забудови (S_v). У разі, якщо площа забудови висотної будівлі перевищує площу земельної ділянки, що розглядається, аналізується можливість зміни площі забудови або здійснюється пошук іншої вільної земельної ділянки, розташованої в межах міста з множини n .

Після вибору земельної ділянки для спорудження висотної будівлі оцінюються властивості, що характеризують конкретну земельну ділянку, характеристики висотного об'єкту та приймається рішення щодо можливості дотримання усіх нормативних вимог у разі будівництва такого об'єкту, зокрема шляхом коригування характеристик висотного об'єкту.

Значення тривалості і вартості спорудження висотної будівлі розраховуються для різних варіантів повного життєвого циклу висотного об'єкту (N).

Здійснюється розрахунок кількісних значень організаційно-технологічних, технічних та управлінських факторів, що здійснюють визначальний вплив на показники ефективності проектних і організаційно-технологічних рішень, а саме:

умовної висоти будівлі ($h_{ум}$),
 фактора складності розробки проектно-кошторисної документації ($C_{кд}$),
 фактора складності виробництва будівельно-монтажних робіт ($C_{бпр}$),
 фактора складності управління інвестиційно-будівельним проектом ($C_{упр}$),
 фактора економічності (F_e), фактора комфортабельності (F_c), фактора стисненості (F_s),

фактора технологічності проектних рішень (F_t),

фактора якості будівлі ($f_{як}$),

фактора енергоефективності будівлі ($f_{ен}$),

фактора безпечності будівлі ($f_{б}$),

фактора екологічності будівлі ($f_{екол}$) [2, 5].

Використовуючи розраховані значення організаційно-технологічних, управлінських та інших факторів, визначаються тривалість і вартість спорудження висотної будівлі на підставі достовірних економіко-статистичних моделей, згідно з наявною інформацією:

$$Y = a + b \cdot x ; Y = e^{a+b \cdot x} ; Y = \frac{I}{a + b \cdot x} ;$$

$$Y = a + \frac{b}{x} ; Y = \frac{I}{a + \frac{b}{x}} ; Y = a + b \cdot \ln(x) ;$$

$$Y = a \cdot x^b ; Y = a + b \cdot \sqrt{x} ; Y = (a + b \cdot x)^2 ;$$

$$Y = e^{\frac{a+b}{x}} ;$$

$$Y_x = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \dots + b_n \cdot x_n$$

Отримані значення тривалості і вартості спорудження висотної будівлі перевіряються на дотримання вимог замовника та відповідність можливостям підрядника.

Після цього, за необхідності, відбувається коригування значень організаційно-технологічних, технічних і управлінських факторів та перерахунок значень тривалості і вартості спорудження висотної будівлі.

Якщо прогнозовані значення тривалості і вартості спорудження висотної будівлі відповідають вимогам замовника, то доцільно визначити значення ризику проекту та порівняти значення ризику, асоційованого з проектом спорудження висотної будівлі, зі значенням допустимого ризику. За потреби, розробляються заходи, спрямовані на зниження рівня ризику проекту.

Таким чином, отримуємо прогнозовані значення тривалості і вартості спорудження висотних будівель, засновані

на оцінюванні умов будівництва, з урахуванням наявних ресурсних обмежень, забезпеченням збалансованості можливостей замовника та підрядника, дотриманням вимог щодо енергоефективності, безпечності, якості та екологічності об'єктів, прийнятного рівня ризику.

Розроблена методика оцінювання умов спорудження висотних будівель та обґрунтування ефективності варіантів проєктних і організаційно-технологічних рішень із виробництва будівельних робіт надає можливість:

- отримання значень тривалості і вартості спорудження висотних будівель залежно від наявної початкової інформації щодо висотного об'єкту та з урахуванням особливостей умов його будівництва;
- розрахунку значень тривалості і вартості спорудження висотних будівель для різних варіантів їх повного життєвого циклу;

- визначати тривалість і вартість спорудження висотних будівель із урахуванням впливу визначальних організаційно-технологічних, технічних та управлінських факторів;
- визначати тривалість і вартість спорудження висотних будівель при заданих ресурсних обмеженнях;
- коригувати значення тривалості і вартості спорудження висотних будівель шляхом варіювання параметрів висотних об'єктів.

Висновки. Запропонований методичний підхід до оцінювання умов спорудження висотних будівель та обґрунтування ефективності варіантів проєктних і організаційно-технологічних рішень призначений для замовників, інвесторів, а також може бути використаний підрядниками, органами державного управління та місцевого самоврядування, зокрема при формуванні договірних відносин і проведенні підрядних торгів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гончаренко Д. Ф., Карпенко Ю. В., Меерсдорф Е. И. Возведение многоэтажных каркасно-монолитных зданий: монография. Киев: А+С, 2013. 128 с.
2. Заяць Є. І., Млодецький В. Р., Ткач Т. В., Мартиш О. О. Методи забезпечення управлінської реалізованості календарних планів зведення об'єктів будівництва: монографія. Дніпро: Акцент-ПП, 2019. 148 с.
3. Чернишев Д. О. Методологія, аналітичний інструментарій та практика організації біосферосумісного будівництва. Київ: КНУБА, 2017. 294 с.
4. Beedle L. S., Ali M. M., Armstrong P. J. The skyscraper and the city: design, technology, and innovation. Lewiston: Edwin Mellen Press, 2007. 912 p.
5. Kravchunovska T., Zaiats Ye., Kovalov V., Nechepurenko D., Kirnos K. Choosing the rational management of high-rise building construction projects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 3, № 3 (105). 2020. *Control Processes*. Pp. 24–33. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.205135.
6. Shao Q.-G., Liou J. J. H., Weng S.-S., Chuang Y.-C. Improving the green building evaluation system in China based on the DANP method. *Sustainability*. 2018. № 10 (4). P. 1173. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10041173>.
7. Tamboli A. R. Tall and supertall buildings: planning and design. New York: McGraw-Hill, 2014. 416 p.
8. Zavadskas E. K., Antucheviciene J., Vilutiene T., Adeli H. Sustainable decision-making in civil engineering, construction and building technology. *Sustainability*. 2018. № 10 (1). P. 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10010014>.

REFERENCES

1. Goncharenko D.F., Karpenko Yu.V. and Meersdorf E.I. *Vozvedenie mnogoetazhnykh karkasno-monolitnykh zdaniy* [The construction of multi-storey frame-monolithic buildings]. Kyiv: A+S Publ., 2013, 128 p. (in Russian).
2. Zaiats Ye.I., Mlodetskyi V.R., Tkach T.V. and Martysh O.O. *Metody zabezpechennia upravlinskoi realizovanosti kalendarnykh planiv zvedennia obiektiv budivnytstva* [Methods of providing of management realization of calendar plans for building objects: monograph]. Dnipro: Aktsent-PP Publ., 2019, 148 p. (in Ukrainian).
3. Chernyshev D.O. *Metodolohiia, analitychnyi instrumentarii ta praktyka orhanizatsii biosferosumisnoho budivnytstva* [Methodology, analytical toolkit and practice of organizing of biosphero-mixing construction: monograph]. Kyiv: KNUBA Publ., 2017, 294 p. (in Ukrainian).

4. Beedle L.S., Ali M.M. and Armstrong P.J. The skyscraper and the city: design, technology, and innovation. Lewiston, Edwin Mellen Press, 2007, 912 p.
5. Kravchunovska T., Zaiats Ye., Kovalov V., Nechepurenko D. and Kirnos K. Choosing the rational management of high-rise building construction projects. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Control Processes. Vol. 3, no. 3 (105), 2020, pp. 24–33. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.205135.
6. Shao Q.-G., Liou J.J.H., Weng S.-S. and Chuang Y.-C. Improving the green building evaluation system in China based on the DANP method. Sustainability. 2018, no. 10 (4), p. 1173. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10041173>.
7. Tamboli A.R. Tall and supertall buildings: planning and design. New York, McGraw-Hill, 2014, 416 p.
8. Zavadskas E.K., Antucheviciene J., Vilutiene T. and Adeli H. Sustainable decision-making in civil engineering, construction and building technology. Sustainability. 2018, no. 10 (1), p. 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10010014>.

Надійшла до редакції: 01.12.2021.

УДК 622.233.235:622.271

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.54.814

ЗАХОДИ ПОЖЕЖО І ВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ СУДОВИХ ВИБУХОТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ

МИСЛІБОРСЬКИЙ В. В.^{1*}, канд. техн. наук, доц.

ГАНЗЮК А. Л.², канд. техн. наук,

НЕТЯГА В. А.³

^{1*} Кафедра будівництва та цивільної безпеки, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська 11, Хмельницький, 29016, Україна, тел. +38 (097) 945-20-75, e-mail: mvovka13@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2076-6604

² Хмельницький науково-дослідний експертний криміналістичний центр, вул. Молодіжна 12, Хмельницький, 29019, Україна, тел. +38 (067) 726-41-17, e-mail: alg12@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3767-9427

³ Хмельницький науково-дослідний експертний криміналістичний центр, вул. Молодіжна 12, Хмельницький, 29019, Україна, тел. +38 (068) 113-55-04, e-mail: netyagava@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9869-6234

Анотація. Постановка проблеми. Судова вибухотехнічна експертиза – вид криміналістичної експертизи, предметом якої є фактичні дані (обставини), які пов'язані з визначенням групової належності та єдиного джерела походження вибухових пристроїв в цілому вигляді або за їх фрагментами (осколками), елементів вибухових пристроїв, обставин вибуху, які встановлюються на основі спеціальних знань в області криміналістичної вибухотехніки за питаннями, які поставлені на вирішення експертизи. Стаття спрямована на визначення основних факторів і причин виникнення пожеж та вибухів при зберіганні, підриванні вибухових речовини, а також надати рекомендації по застосуванню технічних засобів для проведення судових вибухотехнічних експертиз. **Мета статті.** Провести аналіз основних факторів і причин виникнення пожежо та вибухонебезпеки при зберіганні, підриванні вибухових речовини, надати рекомендації по застосуванню технічних засобів для проведення судових вибухо-технічних, а також рекомендації по зберіганню вибухових матеріалів. В ході виконання пожежно-технічних експертиз та досліджень вирішуються питання: де знаходився осередок виникнення пожежі; якими шляхами розповсюджувалось полум'я; яка причина виникнення пожежі; чи були порушені Правила пожежної безпеки на об'єкті; чи є причинний зв'язок між виникненням пожежі з протипожежним станом об'єкта. **Висновки.** В ході виконання вибухотехнічних експертиз та досліджень вирішуються питання: чим являється наданий на дослідження предмет; чи споряджений наданий на дослідження предмет вибуховою речовиною; чи відноситься наданий на дослідження предмет до категорії вибухових пристроїв (боєприпасів); чи не підірвано в даному місці вибуховий пристрій? Якщо так, то до якого виду пристроїв він належить (які особливості його конструкції, країна-виробник, тощо); чи є предмети, знайдені на місці події (в тілі потерпілого), частинами вибухового пристрою; яким способом, саморобним чи промисловим, виготовлено вибуховий пристрій; який спосіб підриву був застосований в цьому випадку; якщо підірвано боєприпаси, до якого виду вони належать (гранати, міни, снаряди, тощо); чи здатний даний пристрій викликати вибух; чи містять надані експерту матеріали дані, що вказують на характерні риси особистості виробника вибухового пристрою (професійні навички, ступінь обізнаності з технологією виготовлення і використання вибухових пристроїв, тощо); чи однакова конструкція саморобного вибухового пристрою, частини якого знайдені на місці події, та макета, виготовленого громадянином. Проведено аналіз основних факторів і причин виникнення небезпеки при зберіганні та підриванні вибухових речовини. Наведено інноваційні розробки технічних засобів для проведення судових вибухотехнічних та пожежно-технічних експертиз, які мають важливе практичне, економічне і соціальне значення та значно зменшують фактори ризику травмувань або загибелі особового складу. Надані рекомендації до проектування об'єктів зберігання вибухових матеріалів.

Ключові слова: пожежа; вибух; вибухові матеріали; підривні роботи; детонація

MEASURES OF FIRE AND EXPLOSION SAFETY OF EXPLOSIVES AND TECHNICAL MEANS DURING CARRIAGE OF FORENSIC EXPLOSION TECHNICAL EXAMINATIONS

MYSLIBORSKYI V.V.^{1*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

GANZYUK A.L.², Cand. Sc. (Tech.),

NETYAGA V.A.³

^{1*} Department of Construction and Civil Security, Khmelnytskyi National University, 11, Institutaska St., Khmelnytskyi, 29016, Ukraine, tel. +38 (097) 945-20-75, e-mail: mvovka13@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2076-6604

² Khmelnytskyi Research Forensic Center, 12, Molodizhn St., Khmelnytskyi, 29019, Ukraine, tel. +38 (067) 726-41-17, e-mail: alg12@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3767-9427

³ Khmelnytskyi Research Forensic Center, 12, Molodizhna St., Khmelnytskyi, 29019, Ukraine, tel. +38 (068) 113-55-04, e-mail: netyagava@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9869-6234

Abstract. Problem statement. Forensic explosive examination - a type of forensic examination, the subject of which is the actual data (circumstances), which are related to determining the group affiliation and a single source of explosive devices as a whole or their fragments (fragments), elements of explosive devices, explosion circumstances are established on the basis of special knowledge in the field of forensic explosives on issues raised for examination. The article is aimed at determining the main factors and causes of fires and explosions during storage, detonation of explosives, as well as provide recommendations for the use of technical means for forensic explosives. **The purpose of research.** To analyze the main factors and causes of fire and explosion hazard during storage, detonation of explosives, provide recommendations for the use of technical means for judicial explosives, as well as recommendations for storage of explosives. In the course of fire technical examinations and research, the following issues are resolved: where was the source of the fire; the ways in which the flames spread; what is the cause of the fire; whether the Rules of fire safety at the site were violated; whether there is a causal link between the fire and the fire condition of the facility. **Conclusions.** In the course of explosive examinations and research, the following issues are resolved: what is the subject submitted for research; whether the object submitted for examination is equipped with an explosive; whether the object submitted for research belongs to the category of explosive devices (ammunition); Is the explosive device detonated in this place? If so, what type of device does it belong to (what are its design features, country of manufacture, etc.); whether the objects found at the scene (in the body of the victim) are parts of an explosive device; in what way, improvised or industrial, the explosive device is made; what was the way of undermining, was used in this case; if ammunition is detonated, what type they belong to (grenades, mines, shells, etc.); whether this device can cause an explosion; whether the materials provided to the expert contain data indicating the personality traits of the manufacturer of the explosive device (professional skills, degree of knowledge of the technology of manufacture and use of explosive devices, etc.); or the same design of an improvised explosive device, parts of which were found at the scene, and a model made by a citizen. The analysis of the main factors and causes of danger during storage and detonation of explosives is carried out. Innovative developments of technical means for forensic explosive and fire technical examinations are presented, which have important practical, economic and social significance and significantly reduce the risk factors for injuries or deaths of personnel. Recommendations for the design of explosives storage facilities are provided.

Keywords: *fire; explosion; explosives; blasting; detonation*

Вступ. Розроблення, виробництво, випробування, придбання, перевезення, зберігання, облік, реалізація, знищення вибухових матеріалів (ВМ), розроблення і виготовлення обладнання, засобів механізації, пристроїв та апаратури для підривних робіт, ввезення, вивезення і транзит через територію України ВМ, обладнання і технологій для їх виготовлення, проведення підривних робіт здійснюються відповідно до вимог Закону України «Про поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» та «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [1].

Пожежа та вибух взаємопов'язані, а саме: пожежа може призвести до детонації вибухових матеріалів так само і вибух може ініціювати пожежу.

Теоретичні основи теорії детонації вибухових матеріалів були започатковані вченими В. О. Міхельсоном (Росія), Д. Л. Чепменом (Англія) і Е. Жуге (Франція) і являли собою формальний опис ударного фронту у вигляді поверхні розриву, що відокремлює вихідну вибухову речовину (ВР) від продуктів вибуху та не враховували кінетики хімічної реакції в детонаційній хвилі.

Дослідження в галузі теорії детонації проводили такі вчені, як Ю. Б. Харитонов, К. П. Станюкович, Л. Д. Ландау, О. Ф. Беляєв, В. К. Боболєв, А. Я. Апін, Г. Т. Афанасьєв, Б. І. Шехтер, П. Ф. Похил, А. М. Дрьомін, К. К. Шведов, В. С. Трофимов, В. М. Зубарєв, В. Ю. Клименко, М. Каупервейт, Л. Грін, Б. Тейлор і багатьох інших відомих науковців.

Відповідно до теорії Я. Б. Зельдовича, В. Дерінга і Дж. Неймана детонація зумовлена стисненням речовини в ударному фронті, потім шар ударно-стисненої речовини, що утворився, запалюється і горить зі швидкістю, що дорівнює швидкості ударного фронту. Ударна хвиля збуджує хімічну реакцію в речовині, а реакція підсилює ударну хвилю, поки не встановиться рівновага між енергією, що передається, і енергією, що розсіюється.

Мета роботи. Провести аналіз основних факторів і причин виникнення пожежо та вибухонебезпеки при зберіганні, підриванні вибухових речовини, надати рекомендації по застосуванню технічних засобів для проведення судових вибухотехнічних, а також рекомендації по зберіганню вибухових матеріалів.

В ході виконання пожежно-технічних експертиз та досліджень вирішуються питання [3]:

- де знаходився осередок виникнення пожежі;
- якими шляхами розповсюджувалось полум'я;
- яка причина виникнення пожежі;
- чи були порушені правила пожежної безпеки на об'єкті;
- чи є причинний зв'язок між виникненням пожежі з протипожежним станом об'єкта.

Судова вибухотехнічна експертиза – вид криміналістичної експертизи, предметом якої є фактичні дані (обставини), які пов'язані з визначенням групової належності та єдиного джерела походження вибухових пристроїв в цілому вигляді або за їх фрагментами (осколками), елементів вибухових пристроїв, обставин вибуху, які встановлюються на основі спеціальних знань в області криміналістичної вибухотехніки за питаннями, які поставлені на вирішення експертизи.

Судова вибухотехнічна експертиза чітко відмежовується від близьких до неї, суміжних в багатьох відношеннях, але самостійних експертиз, які пов'язані з вибухами на виробництві, транспорті і т. п.,

викликаними порушеннями технологічного процесу, правил техніки безпеки на виробництві і при експлуатації різних промислових систем, при проведенні робіт, зберіганні, транспортуванні, завантаженні та розвантаженні вибухонебезпечних речовин і матеріалів.

В ході виконання вибухотехнічних експертиз та досліджень вирішуються питання:

- чим являється наданий на дослідження предмет;
 - чи споряджений наданий на дослідження предмет вибуховою речовиною;
 - чи відноситься наданий на дослідження предмет до категорії вибухових пристроїв (боєприпасів);
 - чи не підірвано в даному місці вибуховий пристрій? Якщо так, то до якого виду пристроїв він належить (які особливості його конструкції, країна-виробник, тощо);
 - чи є предмети, знайдені на місці події (в тілі потерпілого), частинами вибухового пристрою;
 - яким способом, саморобним чи промисловим, виготовлено вибуховий пристрій;
 - який спосіб підриву був застосований в цьому випадку;
 - якщо підірвано боєприпаси, до якого виду вони належать (гранати, міни, снаряди, тощо);
 - чи здатний даний пристрій викликати вибух;
 - чи містять надані експерту матеріали дані, що вказують на характерні риси особистості виробника вибухового пристрою (професійні навички, ступінь обізнаності з технологією виготовлення і використання вибухових пристроїв, тощо);
 - чи однакова конструкція саморобного вибухового пристрою, частини якого знайдені на місці події, та макета, виготовленого громадянином.
- Виклад основного матеріалу.** Вибухові речовини є основною складовою боєприпасів і від їх кількості та виду залежить тип боєприпасу. Забезпечення

заходів безпеки при зберіганні (транспортуванні) боеприпасів та вибухових речовин на даний час є вкрай важливим. Вибухи та пожежі, які відбувались на території України останнім часом призвели до значних матеріальних збитків, крім того, вказані події призвели до поранень та загибелі громадян.

Так в травні 2004 року у с. Новобогданівка Мелітопольського району Запорізької області стались вибухи на артилерійських складах у результаті чого загинуло 5 осіб, поранено 85 осіб, евакуйовано біля 7 тисяч осіб. Площа ураження склала 314 км². Збитки перевищили 3,7 млрд. гривень.

У травні 2005 року в Хмельницькій області на 47-у арсеналі виникла пожежа з подальшими вибухами боеприпасів. В сховищі перебували біля 53 умовних вагонів боеприпасів (снаряди малого калібру – 23 і 30 мм, гранати для підствольних гранатометів), які здетонували в наслідок займання. В наслідок пожежі поранено 9 осіб та евакуйовано близько 900 осіб.

У жовтні 2015 року в м. Сватовому, Сватівського району Луганської області виникла пожежа на складі, де зберігалось близько 3,5 тис. тон боеприпасів. У результаті пожежі та подальших вибухів загинуло 4 особи, поранено 16 осіб, евакуйовано 1 500 осіб.

У травні 2017 року в м. Балаклія Балаклійського району Харківської області виникло займання на складах боеприпасів, що викликало їх детонацію. У результаті пожежі та подальших вибухів загинула 1 особа, поранено 4 осіб, евакуйовано 19 500 осіб. Збитки від пожежі склали порядку 100 млн гривень.

У жовтні 2018 року смт. Дружба Ічнянського району Чернігівської області виникла пожежа та подальші вибухи на артилерійських військових складах. У наслідок пожежі та вибухів евакуйовано 12 500 осіб. Збитки від пожежі склали порядку 100 млн гривень.

Аналіз причин виникнення вказаних подій вказує на необхідність постійного

контролю з боку посадових осіб за дотриманням заходів пожежо та вибухобезпеки при зберіганні (транспортуванні) вибухонебезпечних предметів та вибухових речовин. Серед основних причин виникнення вказаних подій є людський фактор (диверсія, спроби скрити розтрата, порушення заходів безпеки) але наявні також фізичні та хімічні фактори, які впливають на зберігання боеприпасів та вибухових речовин.

До таких фізичних факторів можна віднести: водостійкість ВР; гігроскопічність ВР; ексудація (здатність вибухових речовин виділяти при зберіганні зі свого складу рідкі або легкоплавкі компоненти – ексуданти); старіння ВР.

До хімічних факторів можна віднести: хімічну стійкість ВР; чутливість ВР; можливість взаємодії ВР з металами.

Таким чином на ВР при їх зберіганні впливають як внутрішні чинники: ексудація, старіння, хімічна стійкість так і зовнішні чинники: перепади температур, природне кислотне середовище (взаємодія з ґрунтами та наявність у їх складі хімічних елементів), взаємодія з металами, прямі сонячні промені.

Окремо слід зазначити такий зовнішній чинник як самозаймання. Самозаймання буває таких видів: теплове самозаймання; хімічне самозаймання; мікробіологічне самозаймання.

Тому окрім технічних заходів по зберіганню боеприпасів (ВР) таких як: обвалування сховищ, блискавкозахист, наявність штатної пожежної команди, її укомплектованість та високий рівень професіоналізму, підтримка протипожежного обладнання у належному стані, дуже важливими є вище перелічені фізичні, хімічні фактори та зовнішні чинники.

Періодична перевірка вказаних факторів надає змогу запобігти виникненню пожеж та інших надзвичайних ситуацій.



Рис. 1. Фотографія пристрою для дистанційного приведення в дію реактивних гранатометів (головний вид)



Рис. 2. Фотографія пристрою для дистанційного приведення в дію реактивних гранатометів (вид за віссю пострілу)



Рис. 3. Фотографія пристрою для підривання гранат та їх підричників



Рис. 4. Фотографія пристрою у момент ініціювання сповільнювача підричника гранати

Працівники вибухотехнічних підрозділів Експертної служби МВС України проводили всебічний та глибокий аналіз причин виникнення вказаних подій та приймали безпосередню участь у проведенні слідчих дій (огляди місць подій), також надавали консультації слідчим підрозділам та проводили відповідні судові експертизи. Під час проведення оглядів місць подій за фактами вибухів та пожеж працівниками вибухотехнічних підрозділів використовувалось наступне спеціальне вибухотехнічне обладнання: вибухозахисний костюм типу «ЕОД-7» для захисту працівника, який безпосередньо працює з вибухонебезпечними предметами; бронезилети типу «Корсар 1А-4»; шоломи захисні із захисними щитками; переносний малий безпілотний літальний апарат «Квадрокоптер»; гідродинамічний руйнівник вибухонебезпечних предметів; переносний рентгенівський апарат; комплекти магнітів; комплекти сит та інше.

Судові експерти вибухотехнічних підрозділів Експертної служби МВС України приймають участь у розробленні нових зразків спеціальної техніки та обладнання, необхідних для проведення, як слідчих дій так і судових експертиз. Співробітниками Хмельницького НДЕКЦ розроблені технічні засоби для проведення судових вибухотехнічних та отримані патенти на корисні моделі: «Пристрій для дистанційного відстрілу ручних протитанкових гранатометів» [2], який показано на рисунках 1, «Пристрій для дистанційного приведення в дію ручних осколочних гранат та їх підричників» [3], який показано на рисунках 3, 4; запропоновано спосіб «Використання малих БПЛА на підірвних майданчиках при проведенні судових вибухотехнічних експертиз» [4], реалізацію якого показано на рисунку 5.

Застосування вищезазначених пристроїв та способу в практичній діяльності Хмельницького науково-дослідного

експертно-криміналістичного центру мають важливе практичне, економічне і соціальне значення, а саме: дозволяють проводити безпечно та ефективно дистанційне приведення в дію гранат та їх підричників, реактивних гранатометів з метою безпечного встановлення їх спроможності до пострілу; зменшується кількість осіб, які задіяні при проведенні експертних досліджень та значно зменшує час на їх проведення, а також використання МБЛА надає змогу всебічної фіксації етапів проведення експертного дослідження та значно зменшує фактори ризику травмувань або загибелі особового складу. Слід зазначити, що при проведенні судових вибухотехнічних та пожежно-технічних експертиз наявна значна кількість об'єктів дослідження (до 100 одиниць на кожне дослідження).

Також експерти центру приймають активну участь у розробленні наукових посібників та методичних рекомендацій, таких як: «Дослідження 30 мм пострілів унітарного заряджання до автоматичних гармат 2А42 артилерійських систем сухопутних військ», «Правила виявлення,

фіксації, вилучення фрагментів електричних провідників з ознаками короткого замикання», «Створення Національного стандарту щодо питань термінології та визначень при проведенні судових вибухотехнічних експертиз».

При проведенні судових вибухотехнічних та пожежно-технічних експертиз експертами використовується новітнє обладнання та методи експертних досліджень такі як: газової хроматографії; газорідинної хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням; рентгено-флуоресцентної спектрометрії; оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою.

Результати проведення вказаних судових експертиз допомогли працівникам досудового слідства у завершенні кримінальних проваджень та притягнення винних до відповідальності.

При проектуванні сховищ для довготривалого зберігання вибухових матеріалів або при виконанні вибухотехнічних експертиз необхідно дотримуватись визначених безпечних відстаней за передачею детонації [5].

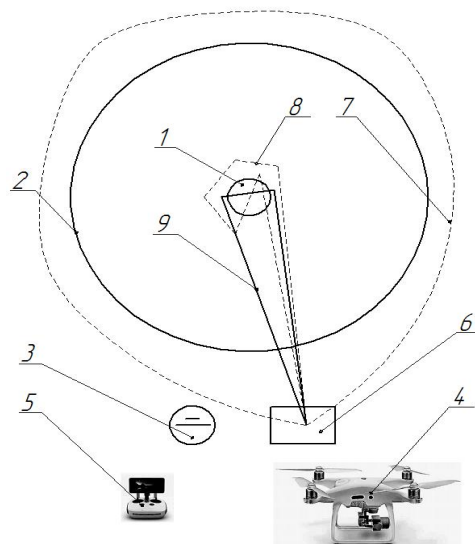


Рис. 5. Схема послідовності проведення дій при використанні способу по застосуванню БПЛА на підривних майданчиках при проведенні експертних експериментів під час виконання судових вибухово-технічних експертиз: 1 – вибуховий пристрій; 2 – траєкторія границі безпечної відстані при вибуху; 3 – оператор; 4 – МБЛА; 5 – пульт керування МБЛА; 6 – стартовий майданчик; 7 – траєкторія польоту з метою встановлення факту відсутності людей або тварин; 8 – траєкторія польоту для огляду місця вибуху у випадку не спрацювання вибухового пристрою; 9 – траєкторія польоту для доставки МБЛА додаткових засобів для екстреного підриву

Відстань, що виключає можливість передавання детонації від вибуху на земній поверхні одного об'єкта з ВМ – активного заряду до іншого такого самого об'єкта – пасивного заряду, визначають за формулою:

$$L_{д} = k_{д} \sqrt[3]{Q} \sqrt[4]{b}, \quad (1)$$

де $L_{д}$ – безпечна відстань від центра активного до поверхні пасивного заряду, м; $K_{д}$ – коефіцієнт, що залежить від виду ВМ зарядів і умов вибуху; Q – маса ВМ активного заряду, кг; b – менший лінійний розмір пасивного заряду (ширина штабеля), м.

Визначення безпечної відстані між двома об'єктами (сховищами) потрібно проводити за формулою (1), приймаючи по черзі кожен об'єкт за активний заряд. У цьому разі за безпечну відстань між об'єктами приймають більше значення з двох розрахованих, але не менше подвоєної ширини найбільшого (за шириною) заряду.

Під час розміщення ВМ, розташованих на одній осі у сховищах видовженої форми, безпечна відстань у всіх випадках повинна становити не менше подвоєної ширини більшого (за шириною) сховища.

За будь-якого розташування сховищ (майданчиків) безпечна відстань повинна бути не меншою за розрив, передбачений правилами протипожежного захисту.

Якщо під час проектування складу необхідно зблизити об'єкти (сховища) на відстань меншу, ніж визначено за формулою (1), то безпечні відстані для такого складу необхідно визначати, виходячи із сумарного запасу ВМ на складі.

Об'єкти підвищеної небезпеки (сховища, стаціонарні пункти розташування та виготовлення ВР, бункери з ВР тощо), ємність яких є меншою за ємність основних сховищ, можна розташовувати тільки на таких відстанях від кожного зі сховищ ВМ, щоб їх вибух не викликав детонацію ВМ у

сховищах. Цю відстань визначають за формулою (1), приймаючи за активний заряд ВМ, що перебувають на об'єктах підвищеної небезпеки.

Визначення відстаней, безпечних за дією отруйних газів вибуху

За одночасного підривання зарядів викидання загальною масою більше ніж 200 т необхідно враховувати газову небезпеку вибуху та встановлювати безпечну відстань $L_{г}$, за межами якої вміст отруйних газів (у перерахунку на умовний оксид вуглецю) не може перевищувати граничнодопустиму концентрацію.

Безпечну відстань $L_{г}$ за дією отруйних газів в умовах відсутності вітру або в напрямку, перпендикулярному поширенню вітру, під час підривання зарядів визначають за формулою:

$$L_{г} = 160 \sqrt[3]{Q}, \quad (2)$$

де Q – сумарна маса зарядів вибуху, т.

У напрямку, протилежному поширенню вітру, радіус газонебезпечної зони необхідно приймати рівним $R_{г}$. У напрямку вітру радіус газонебезпечної зони $R_{г}$ визначають за формулою:

$$R_{г} = 160 \sqrt[3]{Q} (1 + 0,5V_{г}), \quad (3)$$

де $V_{г}$ – швидкість вітру перед вибухом, м/с.

Висновки. Проведено аналіз основних факторів і причин виникнення небезпеки при зберіганні та підриванні вибухових речовини.

Наведено інноваційні розробки технічних засобів для проведення судових вибухотехнічних та пожежно-технічних експертиз, які мають важливе практичне, економічне і соціальне значення та значно зменшують фактори ризику травмувань або загибелі особового складу.

Надані рекомендації до проектування об'єктів зберігання вибухових матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13; затв. Міністерством енергетики та вугільної промисловості України 12.06.2013. Луганськ: ЛЕТЦ, 2013. 194 с.

2. Кудінов О. О., Марчук О. П., Зарічний А. В., Ганзюк А. Л., Кравчук О. В., Гордєєв А. І. Патент на корисну модель № 134057 України, МПК F42B3/02. Пристрій для дистанційного приведення в дію реактивних гранатометів. № u 2018 12411; заявл. 13.12.2018; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.

3. Буханченко О. А., Кравчук О. В., Марчук О. П., Зарічний А. В. Патент на корисну модель № 123069, МПК F42B 3/02. Пристрій для дистанційного приведення в дію ручних осколочних гранат та їх підричників. № u 2017 08062; заявл. 02.08.2017; опубл. 12.02.2018. Бюл. № 3.

4. Кудінов О. О., Ганзюк А. Л., Кравчук О. В., Гордєєв А. І. Патент на корисну модель № 136843 України. МПК G05B 17/00. Спосіб використання МБЛА на підривних майданчиках при проведенні експертних експериментів під час виконання судових вибухово-технічних експертиз. № u 201902453; заявл. 13.03.2019; опубл. 10.09.2019, Бюл. № 17.

5. Соболев В. В., Терещук Р. М., Григор'єв О. Є. Технологія та безпека виконання підривних робіт: навч. посіб. для ВНЗ. Дніпро: НГУ, 2017. 314 с.

6. Методика комплексного дослідження вибухових пристроїв, вибухових речовин і слідів вибуху: посіб. [Текст з екрану]. Національна академія внутрішніх справ: веб-сайт. URL: arm.naiu.kiev.ua/arm/arm_bmb_exp/idb/metod_wte.html

REFERENCES

1. *Pravyla bezpeky pid chas povodzhennya z vybukhovymy materialamy promysloвого pryznachennya: NPAOP 0.00-1.66-13; zatv. M-vom enerhetyky ta vuhil'. prom-sti Ukrayiny 12.06.2013* [Safety rules when handling explosives for industrial purposes: NPAOP 0.00-1.66-13; approved. Ministry of Energy and Coal. industry of Ukraine 12.06.2013]. Lugansk: LETZ, 2013, 194 p. (in Ukrainian).

2. Kudinov O.O., Marchuk O.P., Zarichny A.V., Ganzjuk A.L., Kravchuk O.V. and Gordeev A.I. *Patent na korysnu model' № 134057 Ukrayiny, MPK F42B3/02. Prystriy dlya dystantsiyного pryvedennya v diyu reaktivnykh hranatometiv. u 2018 12411; Zayav. 13.12.2018. Opubl. 25.04.2019, Byul. №8* [Patent for utility model no. 134057 of Ukraine, IPC F42B3/02. Device for remote actuation of jet grenade launchers. in 2018 12411; Application. 12/13/2018; Publ. April 25, 2019, Bull. no.8]. (in Ukrainian).

3. Bukhanchenko O.A., Kravchuk O.V., Marchuk O.P. and Zarichny A.V. *Patent na korysnu model' № 123069, MPK F42B 3/02. Prystriy dlya dystantsiyного pryvedennya v diyu ruchnykh oskolochnykh hranat ta yikh pidryvnykiv. № u 2017 08062; Zayav. 02.08.2017; Opubl. 12.02.2018. Byul. № 3* [Patent for utility model no. 123069, IPC F42B 3/02. Device for remote actuation of hand grenades and their detonators. in 2017 08062; Application. 02.08.2017; Publ. 02.12.2018 Bull. no. 3]. (in Ukrainian).

4. Kudinov O.O., Ganzjuk A.L., Kravchuk O.V. and Gordeev A.I. *Patent na korysnu model' № 136843 Ukrayiny. MPK G05B 17/00. Sposib vykorystannya MBLA na pidryvnykh maydanchykakh pry provedenni ekspertnykh eksperymentiv pid chas vykonannya sudovykh vybukhovo-tekhnichnykh ekspertyz* [Pat. on the utility model no. 136843 of Ukraine. IPC G05B 17/00; no. u201902453; application. March 13, 2019; publ. 10.09.2019, Bull. no. 17]. (in Ukrainian).

5. Sobolev V.V., Tereshchuk R.M. and Grigoriev O.Ye. *Tekhnolohiya ta bezpeka vykonannya pidryvnykh robit: navch. posib. dlya VNZ* [Technology and safety of blasting: textbook. way. for universities]. Dnipro: NМУ Publ., 2017, 314 p. (in Ukrainian).

6. *Metodyka kompleksного doslidzhennya vybukhovykh prystroyiv, vybukhovykh rehovyn i slidiv vybukhu: posib.* [Methods of complex research of explosive devices, explosives and traces of explosion: manual]. National Academy of Internal Affairs: web-site. [Screen text]. URL: arm.naiu.kiev.ua/arm/arm_bmb_exp/idb/metod_wte.html

Надійшла до редакції: 14.11.2021.

УДК 628.194:628.196:66.097.8

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.62.815

ОСНОВНІ ФАКТОРИ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ЗНИЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОБОРотНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ

НЕЧИТАЙЛО М. П.¹, канд. техн. наук, доц.,

НАГОРНА О. К.², канд. техн. наук, доц.,

НЕСТЕРОВА О. В.^{3*}, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, +38 (056) 756-34-74, e-mail: nicknechitaylo@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5963-0590

² Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 4600, Україна, +38 (056) 756-34-74, e-mail: nahorna.olena@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

^{3*} Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, +38 (056) 756-34-74, e-mail: melenanesterenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1035-6572

Анотація. *Постановка проблеми.* Основні питання, що виникають під час експлуатації водооборотних систем охолодження – це погіршення теплотехнічних та гідравлічних характеристик, а також корозійні процеси, що призводять до підвищення експлуатаційних витрат на заміну частин обладнання та трубопроводів. Це зумовлено як з вхідними параметрами пов'язаними з якістю води, так і експлуатаційними параметрами системи, пов'язаними з коефіцієнтами випарювання та різницею температур у контурі. *Методи.* Дослідження виконані на підставі аналізу українських і зарубіжних наукових джерел і звітних даних про специфіку експлуатації систем оборотного водопостачання. Вплив різних факторів на режим роботи системи вивчено в результаті проведених власних досліджень. *Наукова новизна.* Проведено аналіз впливу визначальних факторів на роботу системи оборотного водопостачання. Визначено керуючий фактор у забезпеченні надійності роботи системи оборотного водопостачання. *Практична значимість.* Теоретичні викладки є важливими з огляду на те, що компанії, які займаються процесами охолодження, як правило, не мають у своєму штаті інженера, який би розбирався в процесах очищення води. Інженери проектувальники теплотехнічної частини проектів не навчаються за даною тематикою і також не розуміють проблему, пов'язану з відсутністю належної підготовки води. *Висновки.* Велика кількість факторів, що зумовлюють надійність випарних систем охолодження, показує складність прогнозування та розрахунку її безаварійної роботи. До основних факторів, що зумовлюють надійність роботи випарних систем охолодження можна віднести хімічний склад води, температурні режими та продування. Продування може бути прийняте за керуючий фактор при експлуатації оборотної системи, але саме по собі продування зазвичай не може запобігти утворенню накипу, так як деякі сполуки перевищують рівень насичення і осідають на теплообмінних поверхнях та інших внутрішніх пристроях системи. Для забезпечення надійності роботи систем у більшості випадків потрібна додаткова обробка води хімічними або фізичними методами.

Ключові слова: оборотна система охолодження; продування; утворення накипу; корозія; мікробіологічне обростання

MAIN FACTORS WHICH LEAD TO REDUCING THE RELIABILITY OF REVERSE COOLING SYSTEMS

NECHYTAILO M.P.¹, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

NAHORNA O.K.², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

NESTEROVA O.V.^{3*}, Cand. Sc. (Tech.), assoc. Prof.

¹ Department of Water Supply, Water Disposal and Hydraulics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-74, e-mail: nicknechitaylo@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5963-0590

² Department of Water Supply, Water Disposal and Hydraulics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-74, e-mail: nahorna.olena@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

^{3*} Department of Water Supply, Water Disposal and Hydraulics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-74, e-mail: melenanesterenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1035-6572

Abstract. Problem statement. The main issues that arise during the operation of circulating cooling systems are the deterioration of thermal and hydraulic characteristics, as well as corrosion processes that lead to increased operating costs for the replacement of equipment and pipelines. This is due to both the input parameters related to water quality and the operating parameters of the system related to the evaporation coefficients and the temperature difference in the circuit. **Methods.** The research was performed on the basis of the analysis of Ukrainian and foreign scientific sources and reporting data on the specifics of the operation of circulating water supply systems. The influence of various factors on the mode of operation of the system has been studied as a result of our own research. **Scientific novelty.** The analysis of influence of determining factors on work of system of circulating water supply is carried out. The controlling factor in ensuring the reliability of the circulating water supply system is determined. **Practical significance.** Теоретичні викладки є важливими з огляду на те, що компанії, які займаються процесами охолодження, як правило, не мають у своєму штаті інженера, який би розбирався в процесах очищення води. Інженери проектувальники теплотехнічної частини проектів не навчаються за даною тематикою і також не розуміють проблему, пов'язану з відсутністю належної підготовки води. **Conclusion.** A large number of factors that determine the reliability of evaporative cooling systems, shows the complexity of forecasting and calculating its trouble-free operation. The main factors that determine the reliability of evaporative cooling systems include the chemical composition of water, temperature and purge. Blowing can be taken as a control factor in the operation of the reversible system, but the purge itself usually can not prevent the formation of scale, as some compounds exceed the saturation level and settle on heat exchange surfaces and other internal devices of the system. To ensure the reliability of the systems in most cases requires additional water treatment by chemical or physical methods.

Keywords: *reversible cooling system; scavenging; scaling; corrosion; microbiological fouling*

Постановка проблеми. У промислових системах охолодження найчастіше в якості теплоносія використовується вода. Це пов'язано з тим, що вода доступна, має хороші теплотехнічні властивості, і навіть забезпечує найменші експлуатаційні витрати. Однак при експлуатації водооборотних систем охолодження виникають проблеми, пов'язані з тим, що вода також містить розчинені солі і гази, розчинені органічні речовини, які призводять до відкладень і корозії. Одним із додаткових факторів, що знижують ефективність роботи систем охолодження, є біологічне обростання [1]. Прогнозування роботи таких систем залежить від якості вихідної води і має враховувати безліч параметрів. Для кожного контуру охолодження та джерела води експлуатаційні проблеми обумовлюватимуться своїми залежностями. У даній статті ми постараємося узагальнити основні фактори, які дозволять прогнозувати системи випарного охолодження з урахуванням якості води для підживлення, а також розглянемо основні причини порушення роботи системи охолодження.

Методи. Дослідження виконані на підставі аналізу українських і зарубіжних наукових джерел і звітних даних про специфіку експлуатації систем оборотного водопостачання. Вплив різних факторів на режим роботи системи вивчено в результаті проведених власних досліджень.

Наукова новизна. Проведено аналіз впливу визначальних факторів на роботу системи оборотного водопостачання. Визначено керуючий фактор у забезпеченні надійності роботи системи оборотного водопостачання.

Практична значимість. Теоретичні викладки є важливими з огляду на те, що компанії, які займаються процесами охолодження, як правило, не мають у своєму штаті інженера, який би розбирався в процесах очищення води. Інженери проектувальники теплотехнічної частини проектів не навчаються за даною тематикою і також не розуміють проблему, пов'язану з відсутністю належної підготовки води.

Виклад основного матеріалу дослідження. У процесі роботи системи оборотного водопостачання та відведення тепла частина води випаровується і виноситься в атмосферу. Втрати води в

системі поповнюються підживлювальною водою. Випаровується вода практично без солей, що призводить до підвищення концентрації солей в оборотній системі водопостачання, до утворення пересичених розчинів та випадання частини солей у

вигляді осадів. На рисунку 1 представлена типова система циркуляційного зворотного охолодження з використанням градирні. При експлуатації такої системи необхідно чітко виділяти параметри, які призводять до корозії та осадоутворення.

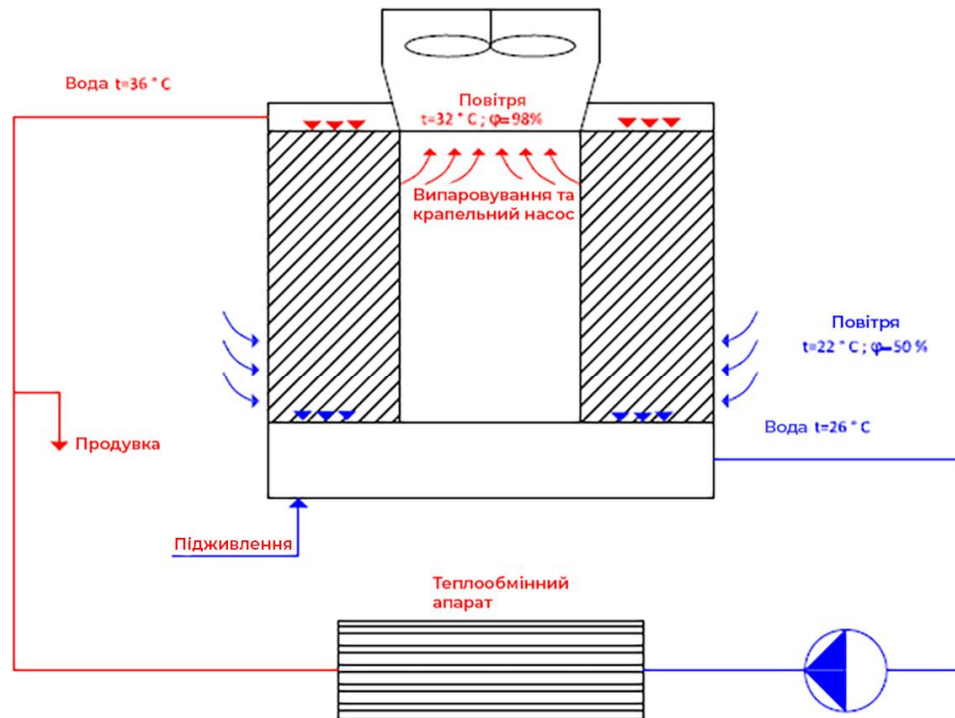


Рис. 1. Типова система циркуляційного зворотного охолодження з використанням градирні

У процесі роботи системи випарного охолодження можна виділити чотири основні проблеми, які пов'язані з водним контуром: корозію, утворення накипу, біологічне обростання нерозчинними частинками, мікробіологічне обростання.

Корозія в оборотних системах охолодження визначається руйнуванням металу внаслідок хімічної чи електрохімічної реакції з доквіллям [2]. Корозія спричиняє дві основні проблеми. Перша і найбільш очевидна – це відмова обладнання, що призводить до витрат на заміну та простою обладнання. Друга, зниження ефективності роботи установки через втрату теплопередачі – результат забруднення теплообмінника накопиченими продуктами корозії. Корозія виникає на аноді, де розчиняється метал. Часто він відділений фізичною відстанню від катода, де відбувається реакція відновлення. Між

цими ділянками існує різниця електричних потенціалів і струм тече через розчин від анода до катода. Процес супроводжується потоком електронів від анода до катода через метал. Відповідно, чим більше солей розчинено в оборотній воді, тим інтенсивніше протікають процеси корозії.

Утворення накипу відбувається в результаті осадження та зростання кристалів на поверхні, що контактує з водою. Осадження відбувається, коли розчинність перевищена або обсягом води, або поверхні. Найбільш поширені солі, що утворюють накип, які відкладаються на поверхнях теплопередачі, це солі, що мають ретроградну розчинність з температурою. Хоча вони можуть бути повністю розчинені у воді з нижчою температурою, ці сполуки (наприклад, карбонат кальцію, фосфат кальцію та силікат магнію) перенасичуються у воді з більш високою

температурою, що прилягає до поверхні теплопередачі, і осаджуються на поверхні.

Утворення накипу не завжди пов'язане з температурою. Відкладення карбонату кальцію і сульфату кальцію утворюються не на поверхнях, що нагріваються, в тому випадку, коли їх розчинність перевищує критичну в обсязі води. Металеві поверхні є ідеальним місцем для зародження кристалів через їхню шорсткість і малі швидкості, що прилягають до поверхні. Додатково комірки корозії на поверхні металу створюють ділянки з високим рН, які сприяють осадженню багатьох солей охолоджуючої води. Після утворення, відкладення накипу ініціюють додаткове зародкоутворення, і зростання кристалів відбувається зі збільшеною швидкістю.

Обростання в системах охолодження відбувається, коли нерозчинні частинки, зважені в циркулюючій воді, утворюють відкладення на поверхні. У механізмах забруднення переважають взаємодії частинок, що призводять до утворення агрегатів. При низьких швидкостях води осадження часток відбувається під впливом сили тяжіння. Параметри, що впливають на швидкість осадження - розмір часток, відносна швидкість рідини та часток, а також в'язкість рідини. Зв'язок цих змінних виражається законом Стокса [3]. Найбільш важливим фактором, що впливає на швидкість осадження, є розмір частинки. З цієї причини контроль забруднення шляхом запобігання агрегації є одним із найбільш фундаментальних аспектів контролю відкладень. Забруднюючі речовини потрапляють у систему охолодження з підживлювальною водою, повітряними забрудненнями, технологічними витоками та корозією. Більшість потенційних забруднювачів потрапляє з водою для підживлення у вигляді твердих частинок, таких як глина, мул і оксиди заліза. Нерозчинні гідроксиди алюмінію та заліза потрапляють у систему після операцій попереднього очищення підживлювальної води. Деякі підземні води містять високі рівні розчинного дивалентного заліза, яке пізніше окислюється до тривалентного

заліза розчинним киснем у рециркуляційній охолоджуючій воді. Оскільки воно має низьку розчинність, тривалентне залізо осаджується. Процес корозії сталі також є джерелом дивалентного заліза і, отже, сприяє забрудненню води. І залізо, і алюміній викликають особливі проблеми через їхню здатність діяти в якості коагулянтів. Крім того, їх розчинні та нерозчинні гідроксидні форми можуть викликати осадження деяких реагентів для обробки води, таких як ортофосфати.

Забруднюючі речовини, що переносяться повітрям, зазвичай складаються з частинок глини і бруду, але можуть включати такі гази, як сірководень, який утворює нерозчинні осади з іонами багатьох металів. Витоки, що виникають у процесі виробництва, призводять до появи різних забруднюючих речовин, які прискорюють осадження та корозію.

Системи водяного охолодження, особливо відкриті рециркуляційні системи, створюють сприятливе середовище для зростання мікроорганізмів [4]. Зростання мікробів на змочених поверхнях призводить до утворення біоплівки. При неконтрольованому впливі такі плівки викликають обростання, яке може негативно позначитися на роботі обладнання, сприяти корозії. Ці проблеми можна контролювати за допомогою належного біомоніторингу та застосування відповідних біоцидних препаратів для циркулюючої води в системах охолодження.

Біоплівки зазвичай представляють собою сукупність біологічних і небіологічних матеріалів. Біологічний компонент, відомий як біоплівка, складається з мікробних клітин та їх побічних продуктів. Переважний побічний продукт, позаклітинна полімерна речовина, є сумішшю гідратованих полімерів. Ці полімери утворюють гелеподібну мережу навколо клітин та сприяють прикріпленню до поверхонь. Небіологічні компоненти можуть бути органічними або неорганічними залишками багатьох джерел,

які адсорбувалися або впроваджувалися в полімер біоплівки.

Біоплівки можуть утворюватися у прямооточних та циркуляційних системах. На деяких ділянках слиз може сприяти зниженню ефективності теплопередачі або зменшенню потоку води. Мікробна активність під відкладеннями або всередині шламів може прискорити швидкість корозії і навіть пробити поверхню теплообмінника

Оцінка основних факторів, що зумовлюють відкладення та корозію в системах випарного охолодження з точки зору хімічного складу води визначається за допомогою показників лужності, рН, жорсткості, вмісту кальцію, провідність, загальна кількість розчинених твердих солей, вміст зважених речовин, вміст хлоридів, температура води, наявність мікробіологічного забруднення, індекс стабільності (насичення), коефіцієнт випаровування та продування.

Лужність характеризує кількість розчинених лужноземельних металів у формі бікарбонатів та карбонатів, які у поєднанні з кальцієм та магнієм утворюють карбонат кальцію та карбонат магнію. Відстеження цього показника дозволяє прогнозувати роботу системи охолодження в режимі утворення накипу або в безнакипному режимі.

Вимірювання водневого показника є одним з найважливіших факторів, що впливають на утворення накипу або корозії в системі охолодження. Значення рН води визначає, чи буде викликати жорстка вода утворення накипу або корозію. Води з низьким $\text{pH} \leq 7$ мають тенденцію викликати корозію, тоді як води з високим рН можуть викликати утворення накипу.

Жорсткість: основний показник, який показує кількість солей кальцію, магнію, заліза та кількостей інших металевих елементів у воді.

Кальцій у перерахунок на карбонати – CaCO_3 .

При проектуванні та прогнозуванні роботи системи охолодження при визначенні вмісту кальцію у воді необхідно спиратися на вимірювання кількості кальцію

уперерахунку на CaCO_3 мг/л, а не на загальну жорсткість. Так, наприклад, вода, що містить 200 мг/л CaCO_3 при рН 9 або вище, вже здатна до утворення накипу. Таким чином, щоб уникнути процесів утворення накипу необхідно контролювати кількість солей кальцію та загальну жорсткість одночасно, що дає повну картину про стан системи.

Провідність та загальна кількість розчинених твердих солей безпосередньо пов'язані між собою. Провідність – це міра можливості розчину проводити електрику, тобто, що більше солей розчинено у питній воді то вище її електропровідність. Вимірювання провідності дає вам гарне уявлення про загальну кількість розчинених твердих речовин – солей. Розчинені солі у воді при пересиченні агломеруються і формують нерозчинні мінеральні відкладення на поверхнях теплопередачі.

Зважені речовини – це дрібнодисперсні органічні та неорганічні речовини, що містяться у воді, які можуть бути центрами кристалізації. Таке чвище викликане глинистим мулом та мікроскопічними організмами, які розпорошені по всій воді, надаючи їй каламутного вигляду.

Хлориди – це загальна кількість розчинених хлоридних солей натрію, калію, кальцію та магнію, присутніх у воді. Хлориди зазвичай не сприяють утворенню накипу, оскільки вони дуже добре розчиняються. Однак хлориди викликають корозію, коли присутні у великому обсязі. Також по хлоридам найбільш точно можна визначити, які процеси протікають у системи з точки зору утворення накипу, шляхом оцінки коефіцієнта упарювання.

Мікробіологічне забруднення охолоджувальних систем є результатом рясного зростання водоростей, грибів та бактерій на поверхнях. Прямоточні і відкриті або закриті системи рециркуляції води можуть підтримувати зростання мікробів, але проблеми забруднення зазвичай розвиваються швидше і більші у відкритих системах рециркуляції. Води прямооточних систем зазвичай містять відносно низькі рівні поживних речовин,

необхідні для зростання мікробіології, тому зростання відбувається повільно. Відкриті рециркуляційні системи підхоплюють мікроорганізми з повітря, а шляхом випаровування концентруються поживні речовини, присутні у підживлювальній воді. Внаслідок цього мікробіологічне обростання відбувається дуже швидко. Витоки з технологічних процесів можуть ще більше збільшувати кількість поживних речовин в охолоджувальній воді.

Крім наявності органічних і неорганічних поживних речовин, такі фактори, як температура, нормальний діапазон регулювання рН і постійна аерація циркулюючої води сприяють створенню середовища, ідеального для зростання мікробів. Також присутність сонячного світла призводить до зростання водоростей. В результаті можуть розвиватися великі та різноманітні мікробні популяції. Результатом неконтрольованого зростання мікробіології на поверхні є утворення слизу.

Результатом неконтрольованого зростання мікробів на поверхні є утворення слизу. «Слиз» зазвичай представляє собою сукупність біологічних і небіологічних матеріалів. Біологічний компонент, відомий як біоплівка, складається з мікробних клітин та їх побічних продуктів. Переважний побічний продукт, позаклітинна полімерна речовина (EPS), є сумішшю гідратованих полімерів [5]. Ці полімери утворюють гелеподібну мережу навколо клітин та, мабуть, сприяють прикріпленню до поверхонь. Небіологічні компоненти можуть бути органічними або неорганічними залишками багатьох джерел, які адсорбувалися або впроваджувалися в полімер біоплівки.

Температура системи охолодження [6] впливає на насичення газами води, і навіть процеси утворення накипу. Також від різниці температур у контурі між входом на теплообмінному пристрої та виходом залежить швидкість випаровування рідини, а відповідно і коефіцієнт концентрування солей або коефіцієнт упарювання.

Індекс насичення або індекс стабільності: Індекс насичення води або

Індекс насичення Ланжером (LSI) [7; 8] це розрахунковий показник стабільності води по відношенню до утворення накипу, який дозволяє враховувати такі параметри як хімічний склад води та температуру. Коли показання LSI позитивні, вода має тенденцію до утворення накипу, а коли показання негативні, вода має схильність до корозії. Зазвичай показання в межах від нуля до одиниці вважаються стабільними.

Коефіцієнт випарювання та продування системи [9] характеризує систему з точки зору збільшення концентрування солей, тобто у скільки разів відбулося випарювання води. Чим більший такий коефіцієнт, тим вища ймовірність осадження в системах солей та перебігу процесів корозії. Цей коефіцієнт прямо пов'язаний також зі скиданням частини води з системи - продуванням, яким можна регулювати концентрацію солей. Незалежно від джерела підживлення на установках з градирнями передача тепла теплої води теплообмінника в основному відбувається за рахунок випаровування в градирні. Звичайно, це призводить до зростання концентрації домішок в обсязі води. Продування це поширений метод запобігання накопиченню надлишків розчинених твердих частинок. Зниження концентрації солей у системі відбувається за рахунок скидання частини солоної води із системи та поповнення її свіжою підживлювальною.

Висновки. Велика кількість факторів, що зумовлюють надійність випарних систем охолодження, показує складність прогнозування та розрахунку її безаварійної роботи. До основних факторів, що зумовлюють надійність роботи випарних систем охолодження можна віднести хімічний склад води, температурні режими та продування. Як правило, на перші два ми впливати не можемо. Третій фактор – продування – може бути прийнятий за керуючий в оборотній системі, але саме по собі продування зазвичай не може запобігти утворенню накипу, так як деякі сполуки перевищують рівень насичення і осідають на теплообмінних поверхнях та інших

внутрішніх пристроях системи. Таким чином, для забезпечення надійності роботи систем у більшості випадків потрібна додаткова обробка води хімічними або фізичними методами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cooling Water Treatment for Industrial Cooling Water Systems. URL: [https://www.ecolab.com/solutions/cooling-water-treatment#f:@websolutions=\[Cooling%20Water%20Treatment\]&f:@webapplications=\[Water%20Treatment\]](https://www.ecolab.com/solutions/cooling-water-treatment#f:@websolutions=[Cooling%20Water%20Treatment]&f:@webapplications=[Water%20Treatment]) (дата звернення: 12.12.2021).
2. Safari F., Zamanpour A., Reihany A., Farah S., Farahbod F. Prevent Corrosion in Cooling Towers: Finding the Optimum Amount of Makeup Water and the Outlet Water Stream. *European Journal of Technology and Design*. 2015. Vol. (7), iss. 1. Pp. 4–11. DOI: 10.13187/ejtd.2015.7.4
3. Эткинс П., де Паула Дж. Физическая химия. Ч. 1. Равновесная термодинамика: учеб. Москва: Мир, 2007. 494 с.
4. The Cooling Water Handbook: a basic guide to understanding industrial cooling water systems and their treatment. URL: <https://www.buckman.com/wp-content/uploads/2018/04/w961a4-coolingwaterhandbook.pdf> (дата звернення: 12.12.2021).
5. Ceyhan N., Ozdemir G. Extracellular polysaccharides produced by cooling water tower biofilm bacteria and their possible degradation. *Biofouling*. 2008. № 24 (2). Pp. 129–135. URL: <https://doi.org/10.1080/08927010801911316>.
6. Рушников А. Ю. Влияние аэрации на углекислотное равновесие в воде. Ч. 2. *Журнал С.О.К.* 2016. № 2. С. 30–35. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/o-nekotoryh-osobennostyah-rascheta-indeksa-stabilnosti-vody-lanzhele> (дата звернення: 12.12.2021).
7. Zhang L., Theregowda R. B., Small M. J. Statistical Model for Scaling and Corrosion Potentials of Cooling-System Source Waters. *Environmental Engineering Science*. 2014. Vol. 31 (10). Pp. 570–581. URL: <https://doi.org/10.1089/ees.2014.0196>.
8. Langelier Saturation Index Calculator. URL: <https://www.lenntech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm> (дата звернення: 12.12.2021).
9. Evaporation and Water Usage. BASIC THEORY AND PRACTICE. URL: <https://www.spxcooling.com/wp-content/uploads/AE-AS-24-1.pdf> (дата звернення: 12.12.2021).

REFERENCES

1. Cooling Water Treatment for Industrial Cooling Water Systems. URL: [https://www.ecolab.com/solutions/cooling-water-treatment#f:@websolutions=\[Cooling%20Water%20Treatment\]&f:@webapplications=\[Water%20Treatment\]](https://www.ecolab.com/solutions/cooling-water-treatment#f:@websolutions=[Cooling%20Water%20Treatment]&f:@webapplications=[Water%20Treatment]) (date of application: 12.12.2021).
2. Safari F., Zamanpour A., Reihany A., Farah S. and Farahbod F. Prevent Corrosion in Cooling Towers: Finding the Optimum Amount of Makeup Water and the Outlet Water Stream. *European Journal of Technology and Design*. 2015, vol. 7, iss. 1, pp. 4–11. DOI: 10.13187/ejtd.2015.7.4.
3. Atkins P. and de Paula J. Physical chemistry. P. 1. Equilibrium thermodynamics: textbook. Moscow: Mir Publ., 2007, 494 p. (in Russian).
4. The Cooling Water Handbook A basic guide to understanding industrial cooling water systems and their treatment. URL: <https://www.buckman.com/wp-content/uploads/2018/04/w961a4-coolingwaterhandbook.pdf> (date of application: 12.12.2021).
5. Ceyhan N. and Ozdemir G. Extracellular polysaccharides produced by cooling water tower biofilm bacteria and their possible degradation. *Biofouling*. 2008, vol. 24 (2), pp. 129–135. URL: <https://doi.org/10.1080/08927010801911316>.
6. Rushnikov A.Yu. *Vliyaniye aeratsii na uglekislotnoye ravnovesiye v vode* [Influence of aeration on carbon dioxide equilibrium in water]. P. 2. *Zhurnal S.O.K.* [Journal of S.O.K.]. 2016, no. 2, pp. 30–35. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/o-nekotoryh-osobennostyah-rascheta-indeksa-stabilnosti-vody-lanzhele> (date of application: 12.12.2021) (in Russian).
7. Zhang L., Theregowda R.B. and Small M.J. Statistical Model for Scaling and Corrosion Potentials of Cooling-System Source Waters. *Environmental Engineering Science*. 2014, vol. 31 (10), pp. 570–581. URL: <https://doi.org/10.1089/ees.2014.0196>.
8. Langelier Saturation Index Calculator. URL: <https://www.lenntech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm> (date of application: 12.12.2021).
9. Evaporation and Water Usage. BASIC THEORY AND PRACTICE. URL: <https://www.spxcooling.com/wp-content/uploads/AE-AS-24-1.pdf> (date of application: 12.12.2021).

Надійшла до редакції: 03.12.2021.

УДК 331.46:001.895

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.69.816

ІННОВАЦІЙНІ ПРОЄКТИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ФЕДОРЧУК-МОРОЗ В. І.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
РУДИНЕЦЬ М. В.², канд. техн. наук, доц.

^{1*} Кафедра цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна, тел. +38 (0332) 74-61-14, e-mail: opbzh@lntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0941-1215

² Кафедра цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна, тел. +38 (0332) 74-61-14, e-mail: opbzh@lntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0793-5963

Анотація. Постановка проблеми. Згідно з офіційними даними Фонду соціального страхування України, у 2020 році зареєстровано 6 646 потерпілих від нещасних випадків/гострих професійних захворювань на виробництві, 393 випадки були смертельними. Порівняно з минулим роком кількість страхових нещасних випадків збільшилась на 51,3 % (у 2019 зафіксовано 4 394 таких випадків), кількість смертельно травмованих осіб зменшилась на 4,1 % (з 410 до 393). Впровадження сучасних інноваційних проєктів, які спрямовані на підвищення стану безпеки праці, безперечно, призведе до зниження виробничого травматизму та підвищення соціальної відповідальності бізнесу. **Мета статті** полягає у аналізі відомих та перспективних інноваційних проєктів підвищення безпеки праці працівників в Україні в сучасних умовах розвитку виробничих технологій. **Висновок.** Зважаючи на поступову інтеграцію України до європейського економічного і соціального простору, високі показники виробничого травматизму в Україні, недостатню культуру безпеки праці у працівників, варто рекомендувати впроваджувати інноваційні проєкти підвищення безпеки праці завдяки комплексному підходу, який включає організаційні та технічні рішення. На основі виконаного аналізу можна зробити припущення про можливість підвищення безпеки праці шляхом впровадження системи менеджменту безпеки на основі ризикорієнтованого підходу, ведення календаря безпеки, нових практико-орієнтованих тренінгових (в т. ч. з лайфрестлінгу) та комп'ютерних технологій, 3D технології віртуальної реальності при проведенні навчання та перевірки знань персоналу. Очевидно, що підвищення безпеки праці може забезпечуватись завдяки впровадженню проєктів автоматизації робочих місць, створення комфортних умов праці на робочих місцях, управління якістю, оптимізації робочого часу із застосуванням сну на робочих місцях. Сприятиме підвищенню безпеки праці застосування інноваційних засобів захисту, трекінгу працівників за допомогою радіочастотних міток, фітнес-браслетів, дронів. Для знезараження повітря і поверхонь у громадському міському транспорті в умовах пандемії варто застосовувати бактерицидні безозонові кварцові лампи та бактерицидні рециркулятори повітря.

Ключові слова: інноваційні проєкти; безпека праці; виробничий травматизм; організаційні та технічні рішення; ризикорієнтований підхід

INNOVATIVE PROJECTS TO INCREASE OCCUPATIONAL SAFETY IN UKRAINE AT THE PRESENT STAGE

FEDORCHUK-MOROZ V.I.^{1*}, PhD in Technical Science, Assoc. Prof.,
RUDYNETS M.V.², PhD in Technical Science, Assoc. Prof.

^{1*} Department of Civil Security, Lutsk National Technical University, 75, Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine, tel. +38 (0332) 74-61-14, e-mail: opbzh@lntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0941-1215

² Department of Civil Security, Lutsk National Technical University, 75, Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine, tel. +38 (0332) 74-61-14, e-mail: opbzh@lntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0793-5963

Abstract. Formulation of the problem. According to the official data of the Social Insurance Fund of Ukraine, in 2020, 6,646 victims of accidents / acute occupational diseases at work were registered, 393 cases were fatal. Compared to last year, the number of insured accidents increased by 51.3 % (4,394 such cases were recorded in 2019), the number of fatally injured persons decreased by 4.1 % (from 410 to 393). Introducing modern innovative projects to improve occupational safety will undoubtedly reduce occupational injuries and increase corporate social responsibility. The **purpose of the article** is to analyse well-known and promising innovative projects to enhance the occupational safety of workers in Ukraine in modern conditions of the development of production technologies. **Conclusion.** Given the

gradual integration of Ukraine into the European economic and social space, high rates of occupational injuries in Ukraine, the insufficient culture of occupational safety, it is recommended to implement innovative projects to improve occupational safety through a comprehensive approach that includes organisational and technical solutions. Based on the analysis, it is possible to enhance occupational safety by implementing a safety management system based on a risk-based approach, maintaining a safety calendar, new practice-oriented training (including life wrestling) and computer technology, 3D virtual reality technology during training and testing of staff knowledge. The increase of labour safety can be provided by implementing workplace automation projects, creating comfortable working conditions in the workplace, quality management, and optimisation of working hours with the use of sleep in the workplace. The use of innovative means of protection, tracking employees with the help of radiofrequency labels, fitness bracelets, drones will help increase occupational safety. Bactericidal ozone-free quartz lamps and bactericidal air recirculation should be used to disinfect air and surfaces in public transport in a pandemic.

Keywords: *innovative projects; labour safety; occupational injuries; organisational and technical solutions; risk-oriented approach*

Постановка проблеми. Глобалізація суспільства, яка характеризується соціальною, економічною і екологічною кризою, ставить сьогодні перед державами нові виклики – досягнення безпеки праці для якомога більшої кількості працівників у здоровому виробничому середовищі.

На жаль, в Україні, яка тільки починає інтеграцію до європейського економічного і соціального простору, стан безпеки праці важко назвати задовільним. Причиною цього, безперечно, є застарілі обладнання, машини та механізми. Крім того, як власники підприємств, так і самі працівники ігнорують елементарні вимоги безпеки, трудову та технологічну дисципліни. Культура безпеки праці на робочих місцях відсутня.

Крім того, більше п'ятої частини працездатних громадян України офіційно не декларують свої трудові відносини. Зрозуміло, що за умови незадекларованої праці жодних соціальних гарантій працівник немає і претендувати на відшкодування в разі втрати працездатності не може. Тому очевидним є той факт, що офіційна статистика не відображає реальної кількості виробничого травматизму в Україні.

Згідно з офіційними даними Фонду соціального страхування України, у 2020 році «zareєстровано 6 646 потерпілих від нещасних випадків/гострих професійних захворювань на виробництві, 393 випадки були смертельними. Порівняно з минулим роком кількість страхових нещасних випадків збільшилась на 51,3% (у 2019 р. зафіксовано 4 394 таких випадків), кількість

смертельно травмованих осіб зменшилась на 4,1 % (з 410 до 393)» [1].

Впровадження сучасних інноваційних проєктів, які направлені на підвищення стану безпеки праці, безперечно, призведе до зниження виробничого травматизму та підвищення соціальної відповідальності бізнесу.

Аналіз публікацій. Окремі аспекти в дослідженні інноваційних технологій у сфері безпеки праці розглядали В. Г. Грибан, Д. В. Зеркалов, С. В. Дембіцька, Ю. П. Носковенко, О. Ю. Ніпіаліді, О. Б. Васильчишин, Н. Ф. Качинська. Однак кількість таких досліджень є недостатньою, оскільки вона не відображає комплексний інноваційний підхід до всього спектру профілактичних заходів з безпеки праці.

Мета статті полягає у аналізі відомих та перспективних інноваційних проєктів підвищення безпеки праці працівників в Україні в сучасних умовах розвитку виробничих технологій.

Результати досліджень. Згідно із Законом України «Про інноваційну діяльність», «інновації – це новостворені (застосовані) і (або) вдосконалені конкурентоздатні технології, продукція або послуги, а також організаційно-технічні рішення виробничого, адміністративного, комерційного або іншого характеру, що істотно поліпшують структуру та якість виробництва і (або) соціальної сфери» [2]. Інноваціями стають новації, які набувають значного поширення.

Завдяки використанню найсучасніших технологій, патентів, винаходів економічно

розвинуті країни отримують майже 90 % приросту валового внутрішнього продукту [3].

Інновації для покращення безпеки та гігієни праці на підприємствах повинні впроваджуватися на основі комплексного підходу до цього питання і можуть бути реалізовані завдяки організаційним та технічним рішенням.

Інноваційні підходи в управлінській діяльності підприємств та організацій полягають у впровадженні системи менеджменту безпеки на основі ризикорієнтованого підходу (згідно ISO 45001:2018), що дасть змогу знизити втрати життя та здоров'я людей. Управлінські рішення мають бути націлені на управління ризиками, виховання культури безпеки, створення робочого середовища без травм.

В світовій практиці основними індикаторами ефективності роботи підприємств у сфері безпеки праці є Lost Time Incident Frequency Rate LTIFR (коефіцієнт частоти травм з тимчасовою втратою працездатності) і Lost Time Accident Frequency Rate – LTAFR (коефіцієнт частоти нещасних випадків зі смертельним наслідком серед всіх випадків травматизму).

Як інноваційний метод профілактики виробничого травматизму на багатьох підприємствах використовується ведення календаря безпеки з урахуванням усіх подій та мікротравм. Також відомий досвід матеріального та морального стимулювання (заохочення) підрозділів і працівників до роботи без травм.

Застосування нових практико-орієнтованих тренінгових та комп'ютерних технологій при проведенні навчання та перевірки знань персоналу – приклад інноваційних організаційних рішень для покращення безпеки праці. Варто впроваджувати проведення відеоінструктажів і навчання з допомогою програмних продуктів, мобільних додатків, використовуючи які, працівник в режимі самопідготовки може засвоїти необхідні

норми та правила, що стосуються його професійної діяльності.

Серед найновіших інноваційних рішень варто відмітити 3D технології віртуальної реальності для навчання співробітників. Таке навчання дозволяє працівнику взаємодіяти з точною копією обладнання без ризику майну підприємства, довкілля і власного здоров'я. 3D технології віртуальної реальності відкривають нові можливості в навчанні працівників, знижують ризики збитків при виході з ладу дороговартісного обладнання.

До інноваційних методів з безпеки праці відносяться і тренінги з лайфрестлінгу – нового виду спорту, який включає змагання з цивільного захисту та надання першої домедичної допомоги.

На думку авторів [4], «заходи щодо забезпечення сприятливих умов праці необхідно передбачати і розробляти вже на стадіях наукового задуму і попередніх проектних досліджень, а потім послідовно реалізовувати в ескізному проектуванні, робочих кресленнях і технологічних картах, не допускаючи ніяких відступів від проектів».

Як відомо, в сучасних умовах спостерігається тенденція переформатування ринку праці переважно в сторону збільшення розумової праці. Враховуючи пріоритети розвитку ринку праці можна спрогнозувати, що уже незабаром за рахунок збільшення кількості працівників, зайнятих розумовою працею, також зростатимуть розумові навантаження на працівників.

Проекти автоматизації робочих місць і скорочення участі людини у виробничих процесах на сьогоднішній день активно застосовується на підприємствах для зменшення частки фізичної та ручної праці і тільки частково можуть застосовуватися для заміни розумової та інтелектуальної праці [5].

Проекти створення комфортних умов праці на робочих місцях відносяться до вимог законодавства у сфері охорони праці, яке зобов'язує роботодавців у законодавчому порядку створювати належні

умови праці для працівників, але не завжди забезпечують підвищення продуктивності праці.

Проекти управління якістю реалізуються як великими компаніями, так і малими підприємствами, які хочуть успішно просувати свої продукти на міжнародному ринку. Їх реалізація в певних випадках передбачає скорочення або переформатування штату працівників і не завжди можуть бути реалізовані у малому і середньому бізнесі.

Проекти оптимізації робочого часу із застосуванням сну на робочих місцях є перспективними як для великих компаній, так і невеликих підприємств, особливо при виконанні розумової праці.

Одним з методів зняття напруження при розумовій праці є фізичні вправи, які повинні тонізувати нервову систему та поліпшувати обмін речовин, покращуючи загальний фізичний стан працівника. Проте вже через короткий відрізок часу працівник буде знову відчувати втоми. В зв'язку з цим потрібно впроваджувати нові підходи та методи до вирішення даної проблеми.

В різних офісах для підвищення рівня продуктивності створюються кімнати психофізіологічного розвантаження, які являють собою спеціально обладнані приміщення, в яких проводять сеанси про зняття втоми і нервово-психічної напруги. Ефект психоемоційного розвантаження досягається за рахунок: естетичного оформлення інтер'єру, трансляції спеціальних музичних творів, коригування повітря робочої зони методами фітотергономіки [4].

Заспокійливий, такий, що піднімає настрій, мікроклімат можна створити за допомогою олій герані, меліси, троянди, неролі (олії з квіток гірко-апельсина), кедр. Ефірні олії евкаліпта, шавлії, розмарину, лимона надають людині впевненості в собі і сприяють подоланню нерішучості.

Сон під час виконання службових обов'язків (сон на роботі) для певних професій є неприпустимим і може призвести до дисциплінарних стягнень, аж до

звільнення. В інших професіях, таких, як пожежники або рятувальники, сон протягом деякої частини зміни може входити до оплачуваного робочого часу. Сон на роботі може бути як навмисним, так і випадковим. Періодичність сну на робочому місці змінюється в залежності від часу дня. Протягом дня працівники більш схильні до нетривалого сну, тоді як в нічну зміну працівник часто спить довго, іноді навмисне.

Дослідники відзначають, що високій працездатності і емоційній стійкості працівників сприяє денний сон [6].

Все більше сучасних компаній розуміють значення раціонально організованого робочого процесу, що включає і час для відпочинку. У деяких компаніях навіть з'являються спеціальні приміщення для відпочинку, де можна розслабитися і подрімати. Але тільки не більше 20 хвилин. Керівництво відразу помічає збільшення продуктивності праці і працездатності своїх співробітників.

Такі компанії, як Google, Nike, Procter&Gamble і Cisco Systems, в своїх офісах відвели спеціальні приміщення для відпочинку. При проектуванні свого офісу в Google вирішили відійти від стереотипних прямокутних приміщень, що використовуються більшістю компаній, надаючи перевагу невеликим затишним кабінетам і зонам відпочинку, де співробітники могли б набиратися натхнення і роздумувати над новими ідеями.

Суть таких інноваційних рішень полягає в тому, що перерви на сон, вільний час на горняк кави і просто зміна розумової діяльності на активний короточасний відпочинок дозволяють інженерам або дизайнерам швидше знаходити креативні творчі рішення [7].

Засоби індивідуального захисту, знезаражувальні, змиваючі засоби на сучасному етапі теж розробляються з використанням інноваційних підходів. Зокрема, спецодяг шийють з полімерних матеріалів, одержаних з допомогою 3D друку, які володіють антибактеріальними та фунгіцидними властивостями. Під час

виготовлення спеціального взуття використовують інноваційний композитний матеріал під носком. В такому взутті ноги працівника не зазнають втоми і не пошкоджуються при ударі.

З'явилися інноваційні рішення для захисту від падіння – вертикальні та горизонтальні анкерні системи, які дозволяють працівникам виконувати важку і небезпечну роботу з впевненістю у безпеці. Страхувальні стропи поступово витісняються новими блокувальними пристроями, принцип роботи яких нагадує ремені безпеки в автомобілі. При постійному витягуванні строп пристрій подовжується, а при різкому (наприклад, при падінні) – пристрій блокується.

В межах цифрової трансформації компанія ДТЕК впроваджує трекінг працівників за допомогою радіочастотних міток (RFID), коли можна побачити точне місце перебування кожного працівника. Трекінг може здійснюватися за допомогою мобільних пристроїв, телефонів, смартфонів, планшетів, навігаторів і спеціально розроблених пристроїв. «Завдяки Wi-Fi технології ми зв'язали між собою ряд систем, технологій і сервісів. Тепер можна в режимі реального часу отримувати дані з різних датчиків. Вони можуть фіксувати дані про вологість, концентрацію газу, стан електроживлення, температуру і рух породи, знаходження персоналу, наближення шахтаря до небезпечних об'єктів і інше» [8].

Для забезпечення безпеки на будівництві застосовують інтернет речей, фітнес-браслетів та інші пристрої, які постійно фіксують інформацію і передають її менеджерам, які управляють процесами. Наприклад, IoT-пристрої (пристрої промислового інтернету речей) можуть передавати інформацію щодо самопочуття кожного працівника – пульс, тиск, насичення крові киснем. При нещасному випадку тривожний сигнал відразу поступає на пульт охорони.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) знайшли своє застосування у охороні державного кордону та у сільському господарстві. В сучасних умовах

застосування дронів і БПЛА можливе для охорони та моніторингу стану промислових об'єктів. Наприклад, кампанія ДТЕК інспектуватиме димові труби та котли ТЕС за допомогою дронів. Це суттєво підвищить рівень промислової безпеки теплових електростанцій [9].

Вплив пандемії COVID-19 призвів до пошуку шляхів зменшення її негативного впливу на безпеку та гігієну праці працівників і населення держав в цілому. У Луцьку працівниками корпорації «Богдан» розроблено технічні заходи безпеки для громадського міського транспорту. Прес-служба корпорації «Богдан» повідомила про винахід системи очищення та знезараження як повітря, так і поверхонь в салоні пасажирського транспортного засобу. Такі комплексні системи будуть встановлюватися в усіх автобусах і тролейбусах, які надалі виготовлятимуться «Богдан Моторс», система очищає та знезаражує повітря і поверхні в салоні автобусів і тролейбусів від будь-яких шкідливих частинок, мікроорганізмів і вірусів. Для обробки салонів на кінцевих точках маршруту будуть встановлені бактерицидні безозонові кварцові лампи, а на маршруті використовуватиметься бактерицидний рециркулятор повітря [10].

Висновки. Зважаючи на поступову інтеграцію України до європейського економічного і соціального простору, високі показники виробничого травматизму в Україні, недостатню культуру безпеки праці у працівників, варто рекомендувати впроваджувати інноваційні проекти підвищення безпеки праці завдяки комплексному підходу, який включає організаційні та технічні рішення.

На основі виконаного аналізу можна зробити припущення про можливість підвищення безпеки праці шляхом впровадження системи менеджменту безпеки на основі ризикорієнтованого підходу, ведення календаря безпеки, нових практико-орієнтованих тренінгових (в т. ч. з лайфрестлінгу) та комп'ютерних технологій, 3D технології віртуальної реальності при проведенні навчання та перевірки знань

персоналу. Очевидно, що підвищення безпеки праці може забезпечуватись завдяки впровадженню проєктів автоматизації робочих місць, створення комфортних умов праці на робочих місцях, управління якістю, оптимізації робочого часу із застосуванням сну на робочих місцях. Сприятиме підвищенню безпеки праці застосування

інноваційних засобів захисту, трекінгу працівників за допомогою радіочастотних міток, фітнес-браслетів, дронів.

Для знезараження повітря і поверхонь у громадському міському транспорті в умовах пандемії варто застосовувати бактерицидні беззонові кварцові лампи та бактерицидні рециркулятори повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стан виробничого травматизму в Україні. URL: <https://www.sop.com.ua/article/952-stan-virobnichogo-travmatizmu-v-ukrani>.
2. Про інноваційну діяльність: Закон України від 04.07.2002 за № 40-IV. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/40-15>.
3. Ніпіаді О., Васильчишин О. Сучасний стан охорони праці в Україні у контексті забезпечення її інноваційного розвитку. URL: <https://translate.google.com/translate?hl=ru&sl=uk&u=http://dspace.wunu.edu.ua>.
4. Дембіцька С. В., Носковенко Ю. П. Інноваційні технології в галузі охорони праці. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/download/6722/5541>.
5. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Fifth Edition. Project Management Institute, 2013. 589 p.
6. Доказана польза сна на работе. URL: <http://nv.ua/techno/science/dokazana-polza-sna-na-rabote-56966.html>.
7. Зони відпочинку в офісах. URL: <http://coob.com.ua/zony-vidpochynku-v-ofisah/>.
8. Навіщо в шахті Wi-Fi або як промисловий інтернет речей вперше в Україні «спустився» під землю. URL: <https://dtek.com/media-center/news/zachem-v-shakhte-wi-fi-ili-kak-promyshlenny-internet-veschey-vpervye-v-ukraine-spustilsya-pod-zemlyu/?amp>.
9. Обладнання теплоелектростанцій ДТЕК Енерго інспектуватимуть дрони. URL: <https://dtek.com/media-center/news/oborudovanie-teploelektrostantsiy-dtek-energo-budut-inspektirovat-drony/>.
10. Актуально як ніколи: Прес-служба корпорації «Богдан». URL: <https://bogdan.ua/novyny/aktualno-yak-nikoly-avtobusy-i-trolejbusy-bogdan-vid-sogodni-budut-vgotovlyatys-iz-vstanovlenymy-kompleksnym/>

REFERENCES

1. *Stan vyrobnychoho travmatyzmu v Urayini* [The state of occupational injuries in Ukraine]. URL: <https://www.sop.com.ua/article/952-stan-virobnichogo-travmatizmu-v-ukrani> (in Ukrainian).
2. *Pro innovatsiyu diyal'nist': Zakon Ukrayiny vid 04.07.2002 za № 40-IV* [On innovative activity: Law of Ukraine of 04.07.2002 for no. 40-IV]. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/40-15> (in Ukrainian).
3. Nipiadi O. and Vasylychshyn O. *Suchasnyy stan okhorony pratsi v Ukrayini u konteksti zabezpechennya yiyi innovatsiynoho rozvytku* [The current state of labor protection in Ukraine in the context of ensuring its innovative development]. URL: <https://translate.google.com/translate?hl=ru&sl=uk&u=http://dspace.wunu.edu.ua> (in Ukrainian).
4. Dembitska S.V. and Noskovenko Yu.P. *Innovatsiyni tekhnolohiyi v haluzi okhorony pratsi* [Innovative technologies in the field of labor protection]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/download/6722/5541> (in Ukrainian).
5. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Fifth Edition. Project Management Institute, 2013, 589 p.
6. *Dokazana pol'za sna na rabote* [The benefits of sleep at work have been proven]. URL: <http://nv.ua/techno/science/dokazana-polza-sna-na-rabote-56966.html> (in Russian).
7. *Zony vidpochynku v ofisakh* [Zones in offices]. URL: <http://coob.com.ua/zony-vidpochynku-v-ofisah/> (in Ukrainian).
8. *Navishcho v shakhti Wi-Fi abo yak promyslovyy internet rechey vpershe v Ukrayini "spustyvysya" pid zemlyu* [Why in the mine Wi-Fi or as an industrial Internet of Things for the first time in Ukraine "went down" underground]. URL: <https://dtek.com/media-center/news/zachem-v-shakhte-wi-fi-ili-kak-promyshlenny-internet-veschey-vpervye-v-ukraine-spustilsya-pod-zemlyu/?amp> (in Ukrainian).
9. *Obladnannya teploelektrostantsiy DTEK Enerho inspektuvaymut' drony* [The equipment of DTEK Energo's thermal power plants will be inspected by drones]. URL: <https://dtek.com/media-center/news/oborudovanie-teploelektrostantsiy-dtek-energo-budut-inspektirovat-drony/> (in Ukrainian).
10. *Aktual'no yak nikoly: Pres-sluzhba korporatsiyi "Bohdan"* [Actual as never before: Press service of Bogdan Corporation]. URL: <https://bogdan.ua/novyny/aktualno-yak-nikoly-avtobusy-i-trolejbusy-bogdan-vid-sogodni-budut-vgotovlyatys-iz-vstanovlenymy-kompleksnym/> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 09.12.2021.

УДК: 672.11, 539.3

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.75.817

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФАЗОВИЙ СКЛАД СТАЛІ

ФІЛОНЕНКО Н. Ю.¹, канд. фіз.-мат. наук, с. н. с., доц.,

БАБАЧЕНКО О. І.^{2*}, докт. техн. наук, с. н. с.,

КОНОНЕНКО Г. А.³, докт. техн. наук, с. н. с.

¹ Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, пл. акад. Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, Дніпровський державний медичний університет, вул. Володимира Вернадського, 9, Дніпро, 49044, Україна, тел. +38 (056) 790-05-14, e-mail: office.isi@nas.gov.ua; ORCID ID: 0000-0003-1219-348X

^{2*} Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, пл. акад. Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (056) 790-05-14, e-mail: office.isi@nas.gov.ua; ORCID ID: 0000-0003-4710-0343

³ Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, пл. акад. Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (056) 790-05-14, e-mail: office.isi@nas.gov.ua; ORCID ID: 0000-0001-7446-4105

Анотація. В даній роботі проведений аналіз фазового складу сталі, додатково легованої алюмінієм, азотом, титаном після кристалізації, деформаційної та термічної обробки. **Мета роботи:** визначити фазовий склад сталі, додатково легованої алюмінієм, азотом, титаном; послідовність утворення фаз при кристалізації; морфологію багатшарових включень. **Методи.** Для визначення структурного стану сплавів використовували мікроструктурний, мікрорентгеноспектральний та рентгенофазовий аналізи. **Результати.** Показано, що при додатковому легуванні після кристалізації відбувається утворення багатшарових включень, оксидів, нітридів та карбонітридів. Показано, що при кристалізації сталі відбувається утворення з розплаву багатфазних включень, в центрі яких розташований метастабільний оксид $(Al, Ti)_2(O, N)_3$, що був оточений нітридом $(Ti, Fe)N$. **Висновки.** Після подальшого нагріву сталі до температури (1533 ± 10) К та гарячої пластичної деформації зі ступенем 50 % (ГПД) оксид $(Al, Ti)_2(O, N)_3$, як структурна складова в сталі не був виявлений. В центрі багатшарових включень спостерігали фазу $(Ti, Al)N$, яка була оточена нітридом титану $(Ti, Fe)N$. Після нагріву і витримки за (1533 ± 10) К, спостерігали окремі включення нітриду титану TiN , $(Ti, Fe)N$.

Ключові слова: сталь; додатково легована титаном; алюмінієм; азотом; багатшарові включення; оксиди алюмінію; нітриди титану

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF DEFORMATION AND HEAT TREATMENT OF STEEL ON THE PHASE COMPOSITION OF STEEL

FILONENKO N. Yu.¹, Cand. Sc. (Phys.-Math.), Sen. Res., Assoc. Prof.,

BABACHENKO O. I.^{2*}, Doct. Sc. (Tech.), Sen. Res.,

KONONENKO H. A.³, Doct. Sc. (Tech.), Sen. Res.

¹ Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, 1, Ak. Starodubova Sq., Dnipro, 49107, Ukraine; Dnipro State Medical University, 9, Vernadskyi St., Dnipro, 49044, Ukraine, tel. +38 (056) 790-05-14, e-mail: office.isi@nas.gov.ua; ORCID ID: 0000-0003-1219-348X

^{2*} Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, 1, Ak. Starodubov Sq., Dnipro, 49107, Ukraine, tel. +38 (056) 790-05-14, e-mail: office.isi@nas.gov.ua; ORCID ID: 0000-0003-4710-0343

³ Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, 1, Ak. Starodubov Sq., Dnipro, 49107, Ukraine, tel. +38 (056) 790-05-14, e-mail: office.isi@nas.gov.ua; ORCID ID: 0000-0001-7446-4105

Abstract. In this paper, the phase composition of steel alloyed additionally with aluminum, nitrogen, titanium after deformation and heat treatment of steel is analyzed. **The purpose of this work** is to determine the phase composition of steel alloyed additionally with aluminum, nitrogen, titanium, the phase forming sequence during crystallization, morphology of multilayer inclusions. **Research methods:** Microstructural, X-ray microanalysis and X-ray diffraction analyses are used to determine the structural state of alloys. **Research results:** It is shown that during additional doping after crystallization the formation of multilayer inclusions, oxides, nitrides and carbonitrides occurs. It is testified that during the crystallization of steel the multiphase inclusions, in the center of which there is a metastable oxide $(Al, Ti)_2(O, N)_3$ surrounded by nitride $(Ti, Fe)N$, are formed from the melt. After further heating of the steel to a temperature of (1533 ± 10) K and hot plastic deformation with a degree of 50 % (HPD), the oxide $(Al, Ti)_2(O, N)_3$ is not

revealed in the steel as a structural component. In the center of the multilayer inclusions the phase (Ti, Al) N surrounded by titanium nitride (Ti, Fe) N is observed. After heating and exposure at $(1\ 123\pm 10)$ K, individual inclusions of titanium nitride TiN, (Ti, Fe) N are observed.

Keywords: *steel; alloyed additionally with aluminum; nitrogen; microalloying; multilayer inclusions; aluminum oxides; titanium nitrides*

Вступ. Відомо, що комплексне легування вітчизняних сталей сприяє отриманню сталей з високим комплексом механічних властивостей [1–3]. Велике значення має послідовність формування структурних складових на механічні властивості сплавів та сталей. Як відомо, додаткове легування сталей титаном та азотом призводить до формування нітридів та карбонітридів титану [4].

Нітрид титану (TiN) і карбід титану (TiC) є надзвичайно твердими матеріалами, що мають антикорозійну властивість [5–7].

Термодинамічні розрахунки показують, що включення TiN нестабільні в рідкій марагентній сталевій ванні. Сегрегація в кашоподібній зоні розплаву сталі під час затвердіння підвищує вміст Ti і N в міждендритній рідині, що створює умови для утворення нітридів титану. Результати розрахунків показали, що розмір включень неоднорідний по всьому радіусу виливки, а найбільші включення локалізовані в зоні середнього радіуса, швидкість плавлення впливає на розмір включення, оскільки змінює час затвердіння [2].

Нітрид титану (TiN) і карбід титану (TiC) відносять до нітридів і карбідів перехідних металів. Ці матеріали мають особливі властивості завдяки тому, що вони поліморфні і можуть утворювати нітриди та карбіди в залежності від концентрації між Ti/N і Ti/C [5]. Нітрид титану та карбід титану мають майже однакові хімічні зв'язки між атомами металу та вуглецем, які об'єднуються в три типи іонних, ковалентних і металевих зв'язків [5].

Розрахунки функціоналу густини (DFT), дозволили визначити мінімальну енергію сполук: фази TiN – -14,55eV, а TiC – -15,5 eV [8] Таким чином, вірогідність

утворення при кристалізації або в твердому стані нітриду титану вища, ніж карбіду.

Відомо, що утворення карбонітриду титану $Ti(C_{1-x}N_x)$ з ґраткою типу NaCl буде стабільною сполукою при $x > 0,65$. Слід зазначити, що в структурі сплавів може відбуватись утворення, як нітриду титану (TiN) і карбіду титану (TiC), так і карбонітриду титану $Ti(C_{1-x}N_x)$ [9].

Автори роботи [10] зазначають, що в карбонітриді титану вміст азоту складає 30 % (ат.), вуглецю – 32 % (ат.), титану – 38 % (ат.). Представлені в роботі [11] результати досліджень умов утворення карбонітриду титану показали, що рівноважні концентрації титану, вуглецю та азоту в рівновазі з карбонітридом титану були отримані при 1 873 K.

В роботі [12] зазначено, що за певних умов в сталі можливе утворення фаз – Ti (C, O), Ti (N, O), та Ti (C, N, O).

В сталях легованих алюмінієм можливе утворення оксидів алюмінію. Оксид алюмінію Al_2O_3 (корунд) вважається стабільною сполукою, але має досить багато модифікацій [13]. Слід зазначити, що під дією тиску та температури можливе утворення інших оксидів алюмінію або їх розпад [14].

Метою даної роботи було дослідити формування окремих включень та морфологію багат шарових включень в дослідній сталі K + (Al–Ti–N) після кристалізації, гарячої пластичної деформації та наступного відпуску.

Матеріали та методика досліджень. В даній роботі проводили дослідження вуглецевої сталі K + (Al–N–Ti) з підвищеним вмістом кремнію та марганцю, мікролегованої титаном, алюмінієм та азотом (табл.).

Хімічний склад дослідної сталі К + (Al-Ti-N)

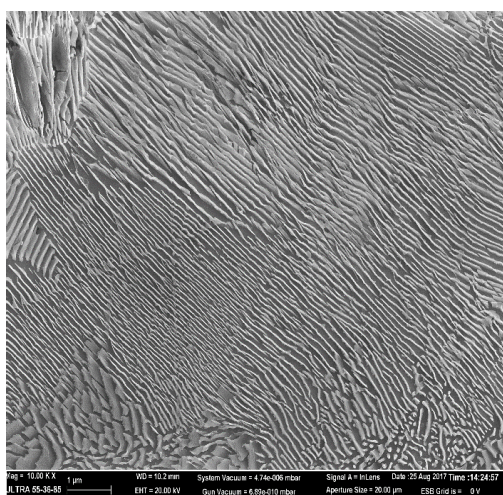
Вміст елементів, % мас.										
C	Si	Mn	P	S	V	Mo	Al	Ti	(N)	(O)
0,58	0,88	0,89	0,013	0,005	≤ 0,005	0,016	0,026	0,022	0,018	0,007

Виплавку сталей проводили в печі в алунових тиглях в атмосфері аргону. Швидкість охолодження сплавів після лиття складала 10 К/с. Після лиття виконали гарячу пластичну деформацію (ГПД) – нагрів до (1 260±10) °С протягом 1 години 45 хв. (+15 хв.). Схема деформації: вільне осаджування на 50 % (за зміною висоти проби) – відповідає схемі та ступеню деформації металу ободу колеса в місці, де відбираються зразки для контролю механічних властивостей). ГПД підлягали проби розміром 70×70×80 мм, вирізані з лабораторних злитків діаметром 100 мм.

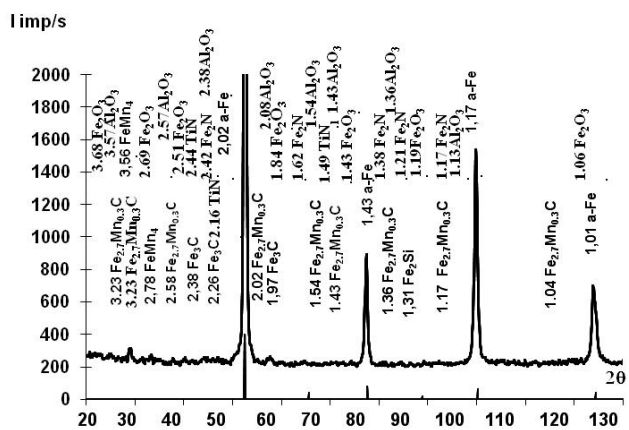
Металографічні шліфи сталей виготовляли за стандартними методиками з застосуванням алмазних паст. Для визначення хімічного складу сплаву використовували хімічний та спектральний аналіз. Фазовий склад сплавів визначали за допомогою оптичного мікроскопа «Неофот-21». Основні результати мікрорентгено-спектрального аналізу отримані за

допомогою електронного мікроскопа JSM-6490 зі скануючою приставкою ASID-4D й енергодисперсійного рентгенівського мікроаналізатора «LinkSystems 860» із програмним забезпеченням. Рентгеноструктурний аналіз здійснювали на дифрактометрі ДРОН-3 у монохрома-тизованому Fe-Kα випромінюванні.

Результати та їх обговорення. В мікроструктурі сталі К + (Al-N-Ti) були виявлені окремі включення – нітриди – (FeTi) N, Ti₂FeN, карбонітриди – (FeTi)(NC); оксиди – (AlTi)₂O₃, Fe₂Al₂O₃, Fe₂(Al)O₃ та Ti₂(Al)NO. Окрім цього, в структурі було визначено утворення карбіду Fe_{2,7}Mn_{0,3}C. Про можливе утворення складних оксидів та нітридів вказують результати досліджень авторів [6; 8–9; 12]. Ферит, був легований манганом до 2,0 % (ат.), титаном 1,5 % (ат.), силіцієм 1,5 % (ат.) та алюмінієм 0,9 % (ат.).



а



б

Рис. 1. Перліт дослідної сталі К + (Al-N-Ti) після лиття (а), дифрактограма (б)

В структурі сталі К + (Al–Ti–N) спостерігали дисперсний перлітний ферит, який був легований манганом до 2,0 % (ат.), титаном 1,5 % (ат.), силіцієм 1,5 % (ат.) та алюмінієм 0,9 % (ат.).

В структурі сталі після лиття спостерігали багатофазові включення (рис. 2).

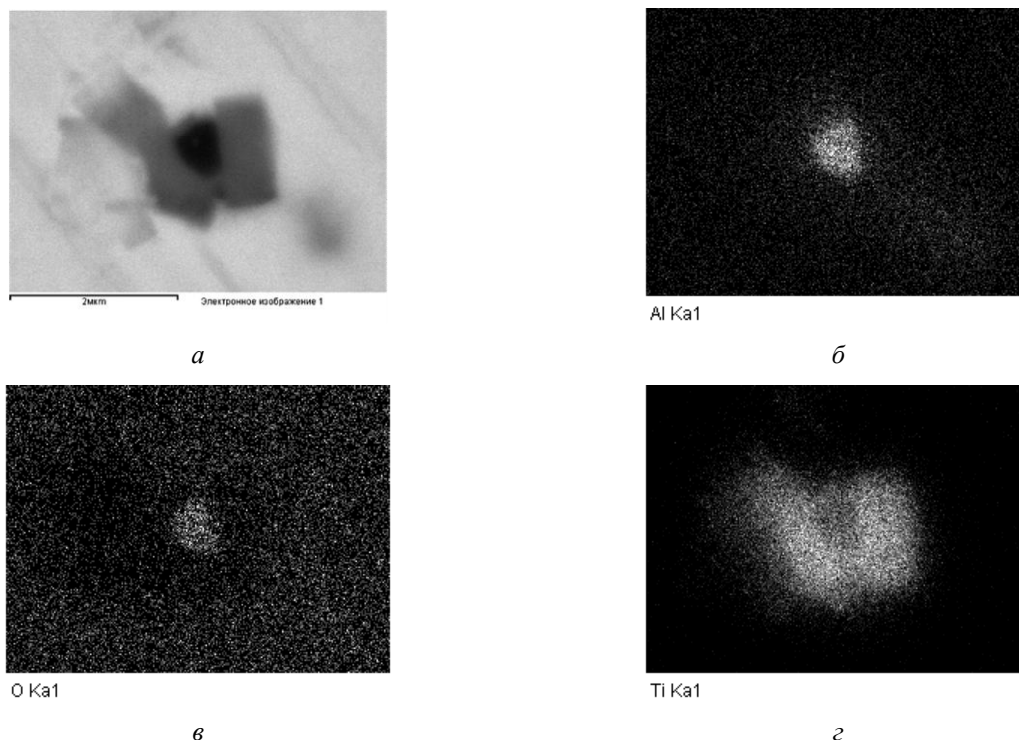


Рис. 2. Мікроструктура багатошарового включення в сталі марки К + (Al–N–Ti) (а) та картограма розподілу хімічних елементів (б – Al, в – O, г – Ti)

На дифрактограмі лінії фази Al_2O_3 (рис. 1) зміщені в сторону більших кутів, що можна пояснити легуванням фази титаном та азотом [12] (рис. 2). В структурі сплаву були виявлені окремі багатошарові включення, які мали розмір 1,5...2 мкм та були розташовані в твердому розчині α -заліза. В центрі багатофазного включення розташований метастабільний оксид алюмінію (Al, Ti)₂(O, N)₃, який є основою для утворення фази (Ti, Fe) N.

Слід зазначити, що виявлені в мікроструктурі включення були розташовані не тільки по границям зерен, а й в зерні перліту.

Після гарячої пластичної деформації (ГПД) при температурі 1 260 °С та витримки протягом 20 хв. Дослідної сталі К + (Al–N–Ti) спостерігали збільшення розмірів зерна перліту.

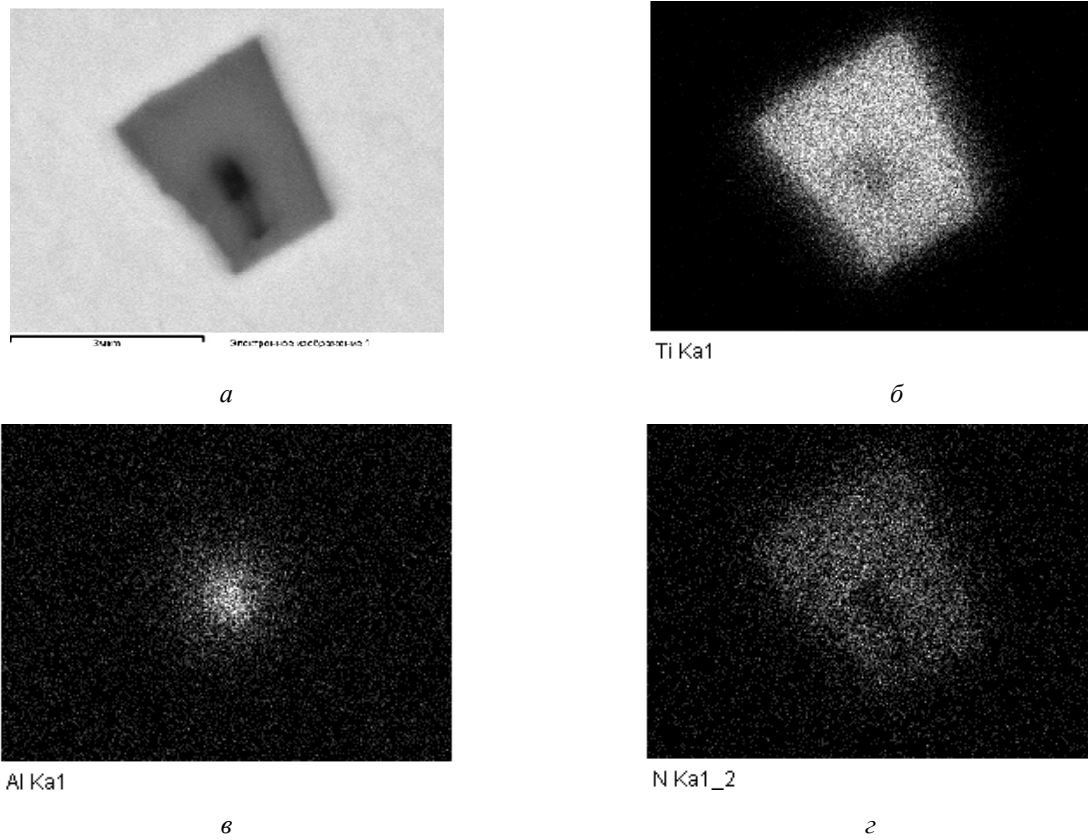


Рис. 3. Мікроструктура багатошарового включення в дослідній сталі $K + (Al-N-Ti)$ після ГПД (а) та картограма розподілу хімічних елементів (б – Ti, в – Al, з – N)

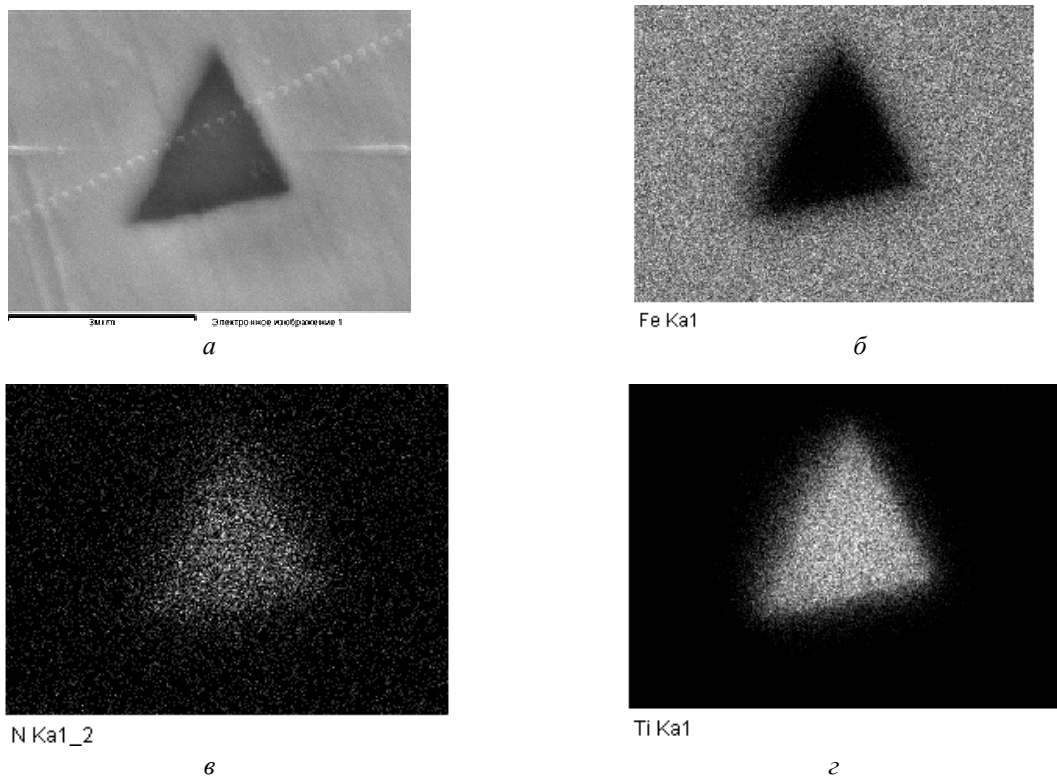


Рис. 4. Нітрид титану (а) та картограма розподілу хімічних елементів (б – Fe, в – N, з – Ti) дослідної сталі $K + (Al-N-Ti)$

В центрі багатофазового включення спостерігали не оксид алюмінію, легований титаном, а нітрид (Ti, Al) N, що був оточений нітридом титану (Ti, Fe) N. Слід зазначити, що в другому шарі багатошарового включення відбувається збільшення вмісту заліза від 4,2 % (ат.) в зоні біля внутрішнього шару, до 10,8 % (ат.) біля краю. В роботі [9] зазначено, що карбіди металів Ta, W та інших можуть розчинятись після обробки в твердому розчині та легувати карбонітрид титану. Утворення в центрі багатофазового включення нітриду (Ti, Al) N замість метастабільного оксиду (AlTi)₂O₃ можна пояснити тим, що під дією тиску та температури відбувається розпад оксиду [14].

Після гарячої пластичної деформації сплавів у фериті спостерігали до 1,15 % (ат.) марганцю, 1,5% (ат.) кремнію, 0,6 % (ат.) титану, 0,034 % (ат.) вуглецю.

Після ГПД при температурі 1 260 °С та ТО при температурі 860 °С в мікроструктурі залишаються нітриди титану TiN, леговані кремнієм 0,5 % (ат.), марганцем до 1,0 % (ат.), алюмінієм до 1,5 % (ат.) (рис. 4).

Окрім цього, були зафіксовані виділення вторинних нітридів титану (TiFe) N та включення карбонітридів титану: (Ti, Fe)(N, C), (Ti, Fe)₂(N, C), що були леговані марганцем до 1,3 % (ат.), кремнієм 1,0 % (ат.), алюмінієм 1,0 % (ат.);

(Ti, Fe)(NC), легованого марганцем до 0,5 % (ат.), кремнієм 1,0 % (ат.).

Цементит був легований марганцем до 1,0 % (ат.), титаном до 2,0 % (ат.), кремнієм 1,5 % (ат.).

ТО сплавів при температурі 860 °С призвела до того, що у фериті спостерігали зменшення вмісту легуючих елементів: марганцю до 1,1 % (ат.), кремнію до 1,0 % (ат.), титану до 0,3 % (ат.), до 0,022 % (ат.) вуглецю, у порівнянні з литим станом. Утворення дрібнодисперсних включень нітридів та карбонітридів в результаті деформаційної і термічної обробки сталі K + (Al–N–Ti), збіднення α-Fe та цементиту легуючими елементами, у порівнянні з литим станом буде сприяти збільшенню пластичності та твердості сталі.

Висновки. Вперше встановлено особливості утворення багатошарових включень після лиття в структурі сталі K + (Al–N–Ti). При кристалізації відбувається утворення первинної фази (Al, Ti)₂(O, N)₃, що є основою для утворення нітриду (Ti, Fe)N, оточеного феритом. Фаза (Al, Ti)₂(O, N)₃ – метастабільна, після наступної обробки – нагріву до (1 260±10) °С та гарячої деформації зі ступенем 50 % (ГПД) в мікроструктурі фаза (Al, Ti)₂(O, N)₃ не була виявлена. В центрі багатошарових включень спостерігали фазу (Ti, Al) N, яка була оточена нітридом титану (Ti, Fe) N. Після нагріву і витримки при (860±10) °С, спостерігали окремі включення нітриду титану TiN, (Ti, Fe) N.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тогобицкая Д. Н., Бабаченко А. И., Козачёк А. С. и др. Информационно-математическое обеспечение оценки влияния химического состава на свойства колесной стали. *Сучасні проблеми металургії*. 2013. № 16. С. 51–56. URL: http://spm.nmetau.edu.ua/journals/99/6_a_ru.pdf.
2. Тогобицкая Д. Н., Бабаченко А. И., Козачёк А. С. и др. Оптимизация химического состава колесных марок сталей на основе параметров межатомного взаимодействия. *Математичне моделювання*. 2014. Вип. 30. С. 44–47.
3. Тогобицкая Д. Н., Бабаченко А. И., Козачёк А. С. и др. Оптимизация химического состава стали для железнодорожных колес, обеспечивающего стабилизацию механических и повышение эксплуатационных свойств. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016. Вип. 2. С. 67–73.
4. Descotes V., Quatravaux T., Bellot J., etc. Titanium Nitride (TiN) Germination and Growth during Vacuum Arc Remelting of a Maraging Steel. *Metals*. 2020. № 10 (4). Pp. 541–548. URL: <https://doi.org/10.3390/met10040541>.
5. Sabitzer C., Steinkellner C., Koller C., etc. Diffusion behavior of C, Cr, and Fe in arc evaporated TiN- and CrN-based coatings and the influence on the malstability and hardness. *Surf. Coat. Technol.* 2015. Vol. 275. Pp. 185–192. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2015.05.020.

6. Parra E. R., Arango P. J. A., Trujillo S. C. Algunos conceptos sobrenitruro detitanio y elcarburo detitanio *DYNA*. 2009. Vol. 76 (157). Pp. 213–224.
7. Espitia-Rico M. J., Casiano-Jiménez G., Ortega-López C. Comparative study TiC/TiN and TiN/CN multilayers. *DYNA*. 2014. Vol. 81 (188). Pp. 160–165. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n188.41637>.
8. Zhang S. Y. Titanium carbonitride based cermets: processes and properties. *Mater Sc. Eng. A*. 1993. Vol. 163. Pp. 141–147. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0921-5093\(93\)90588-6](http://dx.doi.org/10.1016/0921-5093(93)90588-6).
9. Kuptsov K. A., Kiryukhantsev K. V., Sheveyko A. N. Comparative study of electrochemical and impact wear behaviour of TiCN, TiSiCN, TiCrSiCN, and TiAlSiCN coatings. *Surface and Coatings Technology*. 2013. Vol. 216. Pp. 273–281. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.11.058>.
10. Ozturk B., Fruehan R. J. Thermodynamics of inclusion formation in Fe–Ti–C–N alloys. *Metallurgical Transactions B*. 1990. Vol. 21. Pp. 879–884. DOI: 10.1007 / bf0265781.
11. Fan G., Hou Y., Huang D. Synthesis of Ti (C, N, O) from TiO₂ by CH₄–H₂–N₂ Gas Mixture at Low Temperature 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-520202/v1.
12. Xu S., Jaegers N. R., Hu W., Kwak J. H., Bao X., Sun J., Wang Y., Hucor J. Z. High-Field One-Dimensional and Two-Dimensional ²⁷Al Magic-Angle Spinning Nuclear Magnetic Resonance Study of θ -, δ -, and γ -Al₂O₃ Dominated Aluminum Oxides: Toward Understanding the Al Sites in γ -Al₂O₃. *ACS Omega*. 2021. № 6 (5). Pp. 4090–4099. DOI: 10.1021/acsomega.0c06163.
13. Liu Y., Oganov A. R., Wang S., Zhu Q., Dong X., Kresse G. Prediction of new thermodynamically stable aluminium oxides. *Scientific Reports*. 2015. № 5. P. 9518 (7). DOI: 10.1038/srep09518.
14. Amrute A. P., Jeske K., Łodziana Z., Prieto G., Schüth F. Hydrothermal Stability of High-Surface-Area α -Al₂O₃ and Its Use as a Support for Hydrothermally Stable Fischer – Tropsch Synthesis Catalysts. *Chem. Mater*. 2020. Vol. 32. Pp. 4369–4374. URL: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c01587>.

REFERENCES

1. Togobitskaya D.N., Babachenko A.I., Kozachek A.S. and al. *Informatsionno-matematicheskoye obespecheniye otsenki vliyaniya khimicheskogo sostava na svoystva kolesnoy stali* [Information and mathematical support for assessing the effect of chemical composition on the properties of wheel steel]. *Suchasni problemi metalurgii* [Current Problems in Metallurgy]. 2013, no. 16, pp. 51–56. URL: http://spm.nmetau.edu.ua/journals/99/6_a_ru.pdf (in Russian).
2. Togobitskaya D.N., Babachenko A.I., Kozachek A.S. and al. *Optimizatsiya khimicheskogo sostava kolesnykh marok staley na osnove parametrov mezhatomnogo vzaimodeystviya* [Optimization of the chemical composition of wheel steel grades based on the parameters of interatomic interaction]. *Matematichne modelyuvannya* [Mathematical Modeling]. 2014, vol. 30, pp. 44–47 (in Russian).
3. Togobitskaya D.N., Babachenko A.I., Kozachek A.S. and al. *Optimizatsiya khimicheskogo sostava stali dlya zhelezodorozhnykh koles, obespechivayushchego stabilizatsiyu mekhanicheskikh i povysheniye ekspluatatsionnykh svoystv* [Optimization of the chemical composition of steel for railway wheels, which ensures the stabilization of the mechanical properties and the increase in operational properties]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya* [Metallurgical and Mining Industry]. 2016, iss. 2, pp. 67–73 (in Russian).
4. Descotes V., Quatravaux T., Bellot J., etc. Titanium Nitride (TiN) Germination and Growth during Vacuum Arc Remelting of a Maraging Steel. *Metals*. 2020, no. 10 (4), pp. 541–548. URL: <https://doi.org/10.3390/met10040541>.
5. Sabitzer C., Steinkellner C., Koller C., etc. Diffusion behavior of C, Cr, and Fe in arc evaporated TiN- and CrN-based coatings and the influence on the malstability and hardness. *Surf. Coat. Technol*. 2015, vol. 275, pp. 185–192. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2015.05.020.
6. Parra E.R., Arango P.J.A. and Trujillo S.C. Algunos conceptos sobrenitruro detitanio y elcarburo detitanio *DYNA*. 2009, vol. 76 (157), pp. 213–224.
7. Espitia-Rico M.J., Casiano-Jiménez G. and Ortega-López C. Comparative study TiC/TiN and TiN/CN multilayers. *DYNA*. 2014, vol. 81 (188), pp. 160–165. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n188.41637>.
8. Zhang S.Y. Titanium carbonitride based cermets: processes and properties. *Mater Sc. Eng. A*. 1993, vol. 163, pp. 141–147. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0921-5093\(93\)90588-6](http://dx.doi.org/10.1016/0921-5093(93)90588-6).
9. Kuptsov K.A., Kiryukhantsev K.V. and Sheveyko A.N. Comparative study of electrochemical and impact wear behaviour of TiCN, TiSiCN, TiCrSiCN, and TiAlSiCN coatings. *Surface and Coatings Technology*. 2013, vol. 216, pp. 273–281. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.11.058>.
10. Ozturk B. and Fruehan R.J. Thermodynamics of inclusion formation in Fe–Ti–C–N alloys. *Metallurgical Transactions B*. 1990, vol. 21, pp. 879–884. DOI: 10.1007 / bf0265781.
11. Fan G., Hou Y. and Huang D. Synthesis of Ti (C, N, O) from TiO₂ by CH₄–H₂–N₂ Gas Mixture at Low Temperature. 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-520202/v1.
12. Xu S., Jaegers N.R., Hu W., Kwak J.H., Bao X., Sun J., Wang Y. and Hucor J.Z. High-Field One-Dimensional and Two-Dimensional ²⁷Al Magic-Angle Spinning Nuclear Magnetic Resonance Study of θ -, δ -, and

γ -Al₂O₃ Dominated Aluminum Oxides: Toward Understanding the Al Sites in γ -Al₂O₃. ACS Omega. 2021, no. 6 (5), pp. 4090–4099. DOI: 10.1021/acsomega.0c06163.

13. Liu Y., Oganov A. R., Wang S., Zhu Q., Dong X. and Kresse G. Prediction of new thermodynamically stable aluminium oxides. Scientific Reports. 2015, no. 5, p. 9518 (7). DOI: 10.1038/srep09518.

14. Amrute A.P., Jeske K., Łodziana Z., Prieto G. and Schüth F. Hydrothermal Stability of High-Surface-Area α -Al₂O₃ and Its Use as a Support for Hydrothermally Stable Fischer – Tropsch Synthesis Catalysts. Chem. Mater. 2020, vol. 32, pp. 4369–4374. URL: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c01587>.

Надійшла до редакції: 01.12.2021.

УДК 542.46

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.83.818

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF R260 QUALITY RAIL STEEL AFTER HEAT TREATMENT

TEKGÖZ Merve ^{1*}, *Postgrad. Stud.*,
ASGAROV Khangardash ², *Cand. Sc. (Tech.), Prof.*

^{1*} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Karabük University (Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsü), Kilavuzlar Köyü Öte Karşı Üniversite Kampüsü Merkez, Karabük, Turkey, e-mail: tekgozmerve.96@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8534-1204

² Department of Mechanical Engineering, Karabük University (Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsü), Kilavuzlar Köyü Öte Karşı Üniversite Kampüsü Merkez, Karabük, Turkey, tel. +90 (538) 455-04-45, e-mail: hangardasaskerov@karabuk.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4771-3406

Abstract. In this study; It is aimed to determine the effect of cork hardening applied to R260 quality rail steel in laboratory environment on microstructure and mechanical properties. Within the scope of this study, the appropriate internal structure was determined by giving only water and water + air to the rails austenitized at 800 °C in the laboratory environment. Heat treated rails have been subjected to hardness and compression tests. The hardness values closest to the standards were obtained from the rails austenitized at 800 °C and cooled with a water + air mixture in 10 seconds.

Keywords: R260 quality rail steel; heat treatment; compression test

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕЛЬСОВОЇ СТАЛІ R260 ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

ТЕККОЗ Мерве ^{1*}, *аспір.*,
АСКЕРОВ Хангардаш ², *канд. техн. наук, проф.*

^{1*} Кафедра машинобудування, Інженерний факультет, Університет Карабюк, Карабюк, Туреччина, e-mail: tekgozmerve.96@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8534-1204

² Кафедра машинобудування, Університет Карабюк, Туреччина, тел. +90 (538) 455-04-45, e-mail: hangardasaskerov@karabuk.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4771-3406

Анотація. Метою дослідження є визначення впливу зміцнення пробки, що застосовується до рейкової сталі якості R260 в лабораторних умовах, на мікроструктуру та механічні властивості. У рамках цього дослідження визначено відповідної внутрішньої структури шляхом подавання тільки води та води разом з повітрям на рейки, які аустенізовані за 800 °C в лабораторних умовах. Термооброблені рейки піддавались випробуванням на твердість та стиснення. Значення твердості, найближчі до стандартів, отримані з рейок, аустенізованих за 800 °C та охолоджених сумішшю вода + повітря протягом 10 секунд.

Ключові слова: рейкова сталь якості R260; термічна обробка; тест на стиснення

Introduction. Rails are the most important element of railways. Railroad tracks are subjected to various stresses and loads on curves and straight lines. As a result, the rails are damaged and their life is shortened. Especially in curves with a radius of less than 2 000 m, the service life of the rails is reduced by 50 %. Although it varies from country to country; bends with a radius of curvature of

2 000 meters or less on railways are called "narrow bends". On average, 34.2 % of the railway lines in our country are narrow winding roads. Rail life; While it varies between 20...25 years on straight lines, this period decreases to 2...3 years on narrow winding roads. In this case, the use of hardened cork rails is recommended by the UIC.

Within the scope of this study, the appropriate internal structure was determined by giving only water and water + air to the austenitized rails at 800 °C in the laboratory environment. Heat treated rails have been subjected to hardness and compression tests.

Experimental studies. In this study, 1 cm thick samples taken from R260 quality rails were brought to austenitization temperature of 800 °C and kept at this temperature for 45 minutes. Two samples were kept in water at 800 °C for 1 and 10 seconds and then allowed to cool in air. Full quenching heat treatment was carried out by immersing the ends of the other sample in water at 800 °C.



Fig. 1. Rail sample kept in the heat treatment furnace

Microstructure studies were carried out according to metallographic methods and the photographs were taken under optical light microscope and scanning electron microscope. The samples to be examined were cut to the appropriate size; Microstructure photographs were taken by sanding, polishing and etching processes.

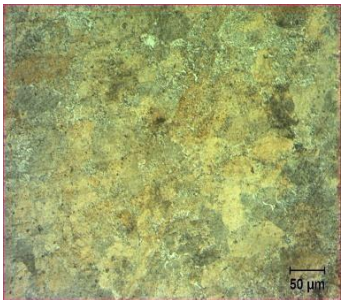
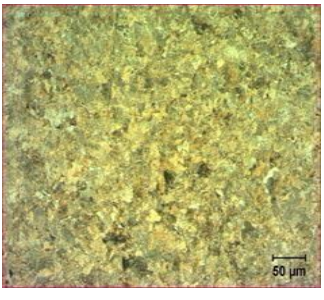
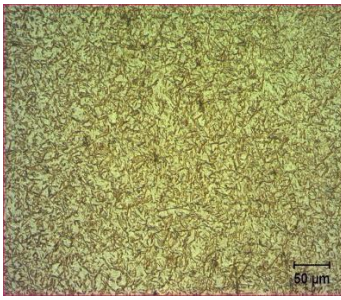
Hardness tests were carried out from the cross-sections of R260 quality rail steel samples. The device in which the hardness tests are performed under a load of 187.5 kg for 15 seconds in accordance with the standard is the Zwick/Roell brand hardness device.

In the compression test, cube-shaped samples of 10 by 10 mm were prepared from the upper part of the rail cork. The prepared samples were quenched for 1, 10 seconds and full quenching. After quenching, a compression test was performed on the rails under 20 N load.

Experimental results. It has a tighter and thinner perlitic structure than the samples that are quenched for 1 and 10 seconds and kept for 10 seconds. On the other hand, in the fully quenched rail sample, a very hard and finer microstructure, likely to be martensite, was obtained.

Table

200X magnification microstructure images of rail samples quenched for different times

200X			
	1 second quenching Coarse perlite	10 second quenching Perlite	Full quenching Martensite

The hardness values of the examined rail samples increase with increasing heat treatment time in the cork hardening method. Thin pearlitic microstructure is seen on the rails which are quenched for 1 and 10 seconds. The rail sample, which is cooled for 10 seconds, tends to meet the hardness values required for the R350HT quality rail. However, the rail sample undergoing full quenching has very high hardnesses and these high hardness values are undesirable in the material. In materials with

high hardness, problems such as brittleness and rapid progression of crack formation may occur.

As the height/width ratio decreases in a fully quenched rail sample, friction increases and the material reaches a higher strength value. The fully quenched sample is also the most brittle sample. The high height/width ratio of the sample, which is quenched for 1 second, causes the sample to bend during the test and the stresses are not distributed homogeneously.

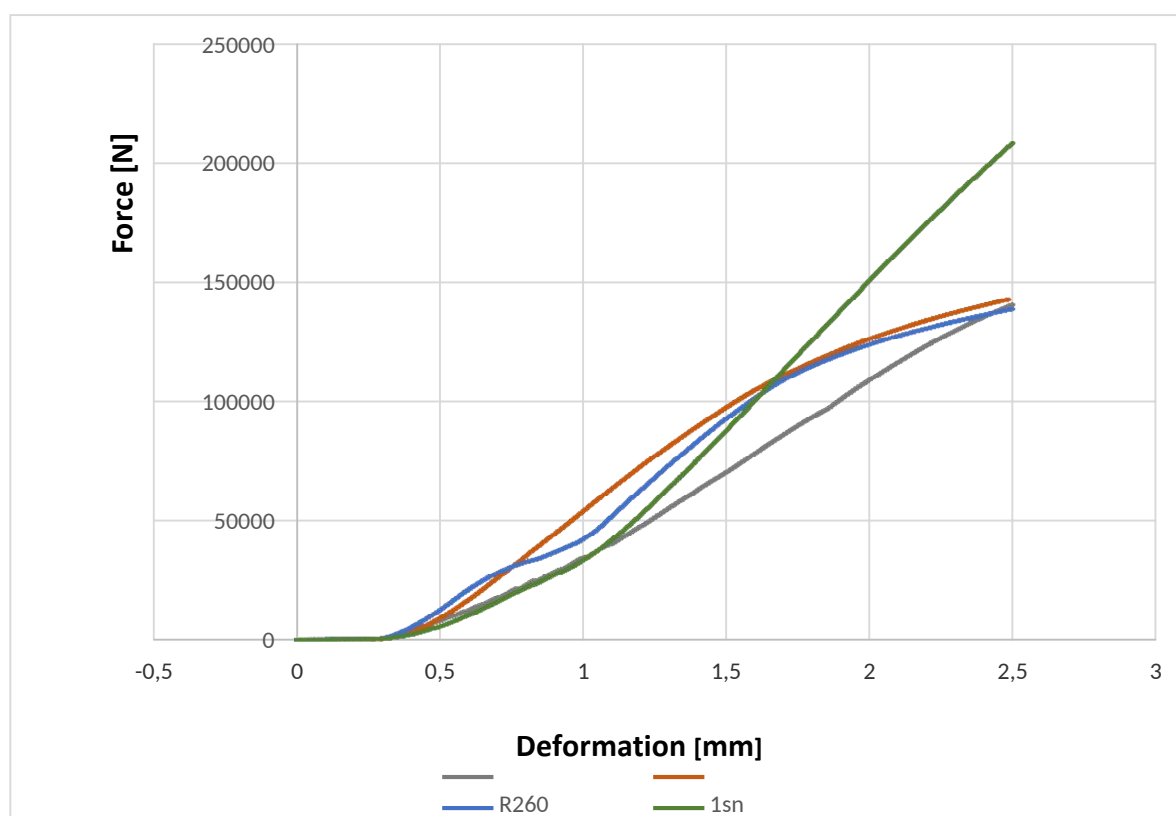


Fig. 2. Hardness values measured at different quenching times

Results. The general results of the mechanical and microstructural values obtained as a result of the heat treatments applied to the R260 quality rail steel are listed below:

- R260 quality rail, which has not been heat treated, is in coarse pearlitic structure. It was observed that the material reached a tighter and finer pearlitic structure as the quenching time increased in the samples quenched at 800 °C for 1 and 10 seconds. In full cooling,

the structure is now martensite.

- The hardness values of the samples whose mushrooms were cured reached from 290 HB values to 360 HB values.

- In the compression test, the rail sample, which was fully quenched at 800 °C, reached a higher strength value and was brittle. It was observed that the most ductile material was the R260 quality rail sample, which was not heat treated.

REFERENCES

1. Nikas D. Influence of combined thermal and mechanical loadings on pearlitic steel microstructure in railway wheels and rails: Thesis for The Degree of Doctor Philosophy. *Chalmers University of Technology*. Gothenburg, Sweden, 2018.
2. TCDD: *T.C. Devlet Demir Yolları İstatistik Yıllığı 2006–2010*. No. 24, Yayın, Ankara, 2010. (in Turkish).
3. Altun S. Isıl İşlem Görmüş Ray Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Mersin, 2019, pp. 10–20. (in Turkish).
4. Yıldız M. Ray Çeliğine Uygulanan Haddeme İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük: Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018, pp. 5–10. (in Turkish).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nikas D. Influence of combined thermal and mechanical loadings on pearlitic steel microstructure in railway wheels and rails: Thesis for The Degree of Doctor Philosophy. *Chalmers University of Technology*. Gothenburg, Sweden, 2018.
2. TCDD: *T.C. Devlet Demir Yolları İstatistik Yıllığı 2006–2010*. № 24, Yayın, Ankara, 2010.
3. Altun S. Isıl İşlem Görmüş Ray Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Mersin, 2019. Pp. 10–20.
4. Yıldız M. Ray Çeliğine Uygulanan Haddeme İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük: Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018. Pp. 5–10.

Надійшла до редакції: 21.11.2021.

ГУМАНІТАРНИЙ БЛОК

УДК: 159.923.2

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.87.819

ПСИХІЧНЕ ТА СОЦІАЛЬНЕ ЗДОРОВ'Я ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ БУДІВЕЛЬНОГО ВИШУ (ДВНЗ ПДАБА)

БІЛОПОЛИЙ В. В.^{1*}, канд. іст. наук, доц.,
ЛАЗАРЕНКО В. І.², канд. соц. наук, доц.,
ГРУЗИН Н. В.³, канд. техн. наук

^{1*} Кафедра філософії, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (099) 453-35-30, e-mail: bv11.5@ukr.net, ORCID ID: 0000-0000-9935-7568

² Кафедра соціальної психології і психології управління, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, вул. Дмитра Яворницького, 35, Дніпро, 49000, Україна, тел. +38 (098) 523-71-01, e-mail: viktoriya.lazarenko.dnu@gmail.com, Researcher ID: S-6484-2018

³ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (097) 727-44-76, e-mail: hruzin.natalia@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-7589-6548

Анотація. Постановка проблеми. Трансформаційні суспільні процеси в Україні, які відбуваються в умовах актуальної ситуації війни, соціальної, економічної і політичної нестабільності, спричинюють зростання соціального напруження, погіршення фізичного, психічного, соціального здоров'я та ускладнюють життєздатність населення. До загального рівня нестабільності українського суспільства додалася ще й пандемія COVID-19, яка, сама по собі, також є джерелом значного стресу для психіки людей. Постійний вплив такого стресу, який триває вже два роки поспіль, спричиняє психічні розлади, такі як депресія, тривожні розлади, посттравматичний стресовий розлад. Означені процеси екстраполюються на освітній процес, впливають на його учасників. Ще й дистанційна форма навчання у закладах вищої освіти, яка є проявом соціальної ізоляції, посилює негативний вплив стресу, хоча й є необхідним засобом попередження поширення вірусної інфекції. В сучасних умовах соціальної нестабільності неминуче виникають певні емоційні порушення, які відбуваються на актуальному стані психічного та соціального здоров'я здобувачів вищої освіти. Статтю присвячено дослідженню психічного і соціального здоров'я здобувачів вищої освіти будівельного вишу (ПДАБА) на сучасному етапі. З позицій холистичного підходу розглянуто здоров'я людини як стан фізичного, психічного та соціального благополуччя. **Мета дослідження** – презентація результатів емпіричного дослідження рівня прояву психічного та соціального здоров'я здобувачів вищої освіти ПДАБА. **Висновки.** Здійснено аналіз психічного та соціального здоров'я здобувачів вищої освіти 1–3 курсів різних спеціальностей Придніпровської державної академії будівництва та архітектури (ПДАБА). Емпірично доведено, що, у студентів переважають середні показники, але певна їх частка має низький рівень психічного здоров'я. Лише у незначній кількості студентської молоді відсутня соціальна тривога. Більше половини здобувачів вищої освіти мають підвищені і високі показники, а також у певній кількості студентів виявлено клінічний прояв соціальної тривоги. Субклінічно і клінічно виражену загальну тривогу має чверть здобувачів освіти 1–3 курсів ПДАБА. Третина з них мають субклінічно і клінічно виражену депресію.

Ключові слова: здобувачі вищої освіти; психічне та психологічне здоров'я; соціальне здоров'я; тривога; соціальна тривога; депресія

MENTAL AND SOCIAL HEALTH OF THE STUDENTS (BY THE EXAMPLE OF PRYDNIPROVSKA STATE ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE)

BILOPOLYI V.V.^{1*}, *Cand. Sc. (Hist.), Assoc. Prof.*,
LAZARENKO V.I.², *Cand. Sc. (Sociol.), Assoc. Prof.*,
HRUZIN N.V.³, *Cand. Sc. (Tech.)*

^{1*} Department of Philosophy, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (099) 453-35-30, e-mail: bv.11.5@ukr.net, ORCID ID: 0000-0000-9935-7568

² Department of Social Psychology and Psychology of Management, Oles Honchar Dnipro National University, 35, Dmitry Yavornitsky Av., Dnipro, 49000, Ukraine, tel. +38 (098) 523-71-01, e-mail: viktoriya.lazarenko.dnu@gmail.com, Researcher ID: S-6484-2018

³ Department of Materials Science and Treatment of Metals, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (097) 727-44-76, e-mail: hruzina.nataliia@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-7589-6548

Abstract. Problem statement. Social transformations in Ukraine, which are taking place under the conditions of war, social, economic, and political uncertainty, cause more social stress and pressure, have poor impact on physical, mental, and social health, as well as complicate resilience and vitality of the population. The coronavirus COVID 19 pandemic is one more additional factor, which is a great source of stress affecting mental health of people. Being influenced by the regular stress for two years, people suffer from such psychological disorders as depression, anxiety disorders, posttraumatic stress disorders. The participants in the educational process are also exposed to the above-mentioned problems. In addition, distance learning, as a form of social isolation, intensifies negative influence of stress, even though it is a necessary measure to prevent this contagious disease. Under the current conditions of social uncertainty, some emotional impairments are inevitable and the students suffer from them. The paper is devoted to the investigation of mental and psychological health of students of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. The human health as a condition of physical, mental and social well-being is considered from the perspective of the holistic approach. **The purpose of the research** is to represent the findings of empirical studies about the level of mental and social health of students of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA). **Conclusions.** The analysis of mental and social health of 1–3-year students of different specialties in PSACEA has been conducted. It is empirically proved that, in general, the students have the average indicators. However, the level of mental health of some students is quite low and only a small part of youth has no social anxiety disorder. Over half of the students have high and above average indicators, but a certain number of students have clinical implications of social anxiety disorder. Subclinical and clinical implications of anxiety are typical of the quarter of students of the 1–3 years of study. The third of them has subclinical and clinical implications of depression.

Keywords: *students; mental and psychological health; social health; anxiety; social anxiety; depression*

Постановка проблеми. Трансформаційні суспільні процеси в Україні, наразі, в умовах актуальної ситуації війни, соціальної, економічної і політичної нестабільності спричиняють зростання соціального напруження, погіршення фізичного, психологічного, соціального здоров'я населення та ускладнюють життєздатність людей. До загального рівня нестабільності українського суспільства додалася ще й пандемія COVID-19, яка, сама по собі, також є джерелом значного стресу для людей. Постійний вплив такого стресу, який триває вже два роки поспіль, може стати причиною розвитку психічних розладів, таких як депресія, тривожні розлади, посттравматичний стресовий розлад. Дистанційна форма навчання у закладах вищої освіти, яка є проявом соціальної ізоляції, посилює негативний вплив стресу, хоча й є необхідним заходом для попередження поширення захворювання.

Означені процеси екстраполюються на освітній процес, впливають на його учасників. В умовах соціальної нестабільності, навіть за умов наявних ознак психічної стійкості, не можливо уникнути певних емоційних порушень, які відбиваються на актуальному стані психічного здоров'я. Особи ж із низьким

економічним статусом, до яких належать здобувачі вищої освіти, підпадають під більшу кількість стресорів за умови меншого об'єму ресурсів, необхідних для того, щоб впоратися із різноманітними стрес-факторами. А саме студентська молодь є вразливою до дії різноманітних стресорів. Виникає потреба у пошуку потенційних ресурсів вирішення проблеми підтримання психічного здоров'я студентської молоді. Отже, актуальний стан психічного здоров'я людей в Україні в сучасних умовах, у тому числі студентської молоді, зумовлюють актуальність теми нашого дослідження.

Аналіз публікацій. Теоретичний аналіз сучасних наукових джерел доводить, що психологія здоров'я (Health Psychology) є відносно новою сферою знання про людину. Як сфера наукових досліджень, вона оформилася на межі 70-80-х рр. ХХ століття за кордоном на противагу психології хвороб і зробила акцент на тому, що здоров'я людини безпосередньо залежить від збереження, відновлення і розвитку різноманітних життєвих ресурсів людини. Таким чином відбулося перенесення акценту з хвороби на здоров'я та його детермінанти. Одночасно психологія здоров'я оформилася як галузь прикладної психології. У цей період виокремилися

відповідні секції у психологічних товариствах у різних країнах, із яких перша секція психології здоров'я Американського психологічного товариства створена у 1978 році. Health Psychology оформилася у США 1982 року. У 1984 році з'явилися секції психології здоров'я в Міжнародному товаристві прикладної психології (International Association of Applied Psychology: IAPA). У 1986 році створено Європейське товариство психології здоров'я (European Health Psychology Society EHPS), яке від початку свого існування видає часопис Психологія і здоров'я (Psychology and Health). Виокремлено психологію здоров'я як академічну дисципліну, що створює власні дослідницькі та дидактичні програми. У вищих навчальних закладах створено наукові осередки, які займаються навчанням і дослідженнями в галузі психології здоров'я.

На пострадянському науковому просторі до психологічних аспектів здоров'я звернулися на початку 1990-х рр. З цього часу розпочався її розвиток як самостійної сфери соціально-психологічних досліджень. В Україні ж психологія здоров'я як новий і самостійний науковий напрямок лише починає своє становлення і, наразі, інтенсивно розвивається. Засновником психології здоров'я вважається американський психолог Д. Матаратцо (Josef Mattarazzo). У його визначенні психологія здоров'я – це цілісність специфічного, освітнього, наукового та професійного внеску психології як дисципліни в промоцію і підтримку здоров'я, запобігання та лікування хвороб, розпізнавання етіологічних й діагностичних корелятивів здоров'я, хвороби і подібних дисфункцій, а також внесок до аналізу та оптимізації системи охорони здоров'я і формування оздоровчої політики [10].

Інший американський дослідник Ш. Тейлор (Shelley Taylor) в одному з перших підручників із психології здоров'я (1986) визначив її галузю психології, що вивчає вплив психологічних чинників на спроможність людей залишатися здоровими, окреслює їх значення в появі хвороб, а

також їхню роль у формуванні поведінки людей під час хвороби [11].

Наразі, відсутнє загальноприйняте визначення психології здоров'я. Сучасні дослідники такі, як В. Ананьєв, Н. Водоп'янова, І. Галецька, І. Гурвич, О. Корнієнко, Г. Ложкін, С. Максименко, Н. Максимова, К. Мілютіна, Г. Никифоров, В. Носков, В. Піскун, Т. Сосновський, М. Тимофієва, О. Двіжона, Н. Шевченко та ін. неодноразово зверталися до визначення змісту даного галузі психології.

Огляд сучасних ідей засвідчує, що шлях становлення психології здоров'я різні автори умовно об'єднують у три етапи, на кожному з яких формувалася своя концептуальна ідея.

Наразі, *філософською основою психології* здоров'я є теоретико-методологічні підходи:

- антропологічний (розглядає людину в її цілісності, враховуючі єдність рівнів функціонування – біологічного, психологічного, соціального);
- аксіологічний (передбачає пріоритет здоров'я як базової цінності – ще античні філософи одними з перших в історії психології розглядали здоров'я як справжню цінність буття і відкрили універсальні принципи здорового, гармонійного існування);
- системний (дозволяє створити систему формування здорової особистості);
- культурологічний (залучення досвіду попередніх поколінь із метою збереження і розвитку здоров'я людини і суспільства);
- діяльнісний (передбачає реалізацію накопичених знань через різні види діяльності з метою вдосконалення себе);
- етика, естетика (моральні норми поведінки).

Аналіз різних існуючих концепцій і моделей здорової особистості дозволяє зрозуміти, що має місце поліваріантність філософських і наукових інтерпретацій здоров'я, яка вимагає врахування комплексного, інтегративного підходу при побудові моделі здорової особистості.

В Україні, наразі, оформилися самостійні наукові напрямки дослідження психології здоров'я. Провідними науковими осередками таких досліджень можна

назвати кафедру психодіагностики та медичної психології Київського національного університету імені Тараса Шевченка [8]. Вчені кафедри Л. Ф. Бурлачук, С. В. Васківська, О. В. Корнієнко займаються дослідженням психосоматичних, особистісних і соціально-психологічних аспектів життєдіяльності, які є регуляторами психічного здоров'я людини, важливу увагу приділяють технологіям консультування психосоматичних хворих.

Інститут психології імені Г. С. Костюка АПН України спрямовує свою діяльність на розробку теоретико-методологічних засад психологічної науки з урахуванням сучасних світових тенденцій її розвитку. Так, науковці М. Й. Боришевський, Н. І. Волошко, З. Г. Кісарчук, О. М. Кокун, С. Д. Максименко, Н. Ю. Максимова, К. Л. Мілютіна, В. М. Піскун займаються дослідженням питань з покращення психічного здоров'я людини, психології здорового способу життя особистості.

Наукові дослідження кафедри медико-психологічного факультету національного медичного університету ім. О. О. Богомольця спрямовані на особливості педагогічної психогієни.

Кафедра психології Львівського національного університету імені І. Франка активно співпрацює з Інститутом соціогуманітарних проблем людини Західного наукового центру НАН України та МОН України. В рамках цієї співпраці проводяться дослідження теми «Здоров'я нації».

Основними напрямками наукових розробок та досліджень викладачів кафедри психології та психодіагностики Волинського національного університету імені Лесі Українки в галузі психології здоров'я є психологія тілесності, формування позитивного Я-образу.

Комплексною темою наукової роботи кафедри психології та соціології Буковинського державного медичного університету є «Формування мотивації та установок на збереження психічного та психологічного здоров'я сільської молоді». Об'єктом вивчення у рамках означеної теми є етнопсихологічні, соціально-психологічні,

ціннісні та мотиваційні чинники збереження психічного та психологічного здоров'я у сільської молоді.

Викладачі кафедри психофізіології та медичної психології Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича проводять дослідження в контексті наукової теми «Становлення та функціонування особистості в особливій ситуації соціального розвитку: клініко-психологічні та фізіологічні аспекти».

Д. Матараццо звертає увагу на те, що психологія здоров'я є міждисциплінарною науковою сферою та має плідні зв'язки з іншими психологічними дисциплінами. До них належать експериментальна і клінічна психологія, психіатрія, педіатрія, соціальна психологія, психологія розвитку, психофізіологія й ін. Також автор відмічає точки перетину психології здоров'я з дієтологією, біологією та соціальною роботою. На думку того ж Д. Матараццо, існує чотири галузі знань, які найбільше визначають дослідницький контекст психології здоров'я – це епідеміологія, медична соціологія, медична антропологія, соціальне здоров'я [10, с. 28–30].

Узагальнення сучасних підходів засвідчує, що психічне здоров'я забезпечується на різних, але взаємозалежних рівнях функціонування людини: *біологічному, психологічному і соціальному*. Як зазначають Г. В. Ложкін, О. В. Носкова, І. В. Толкунова, здоров'я людини на кожному з названих рівнів має особливості свого прояву [4].

На *біологічному рівні* здоров'я передбачає динамічну рівновагу функцій усіх внутрішніх органів та систем, їхнє адекватне реагування на вплив навколишнього середовища. На *психологічному рівні* здоров'я пов'язане з особистістю людини. Психічне здоров'я може бути порушене домінуванням негативних за своєю сутністю рис характеру, дефектами в моральній сфері, неправильним вибором ціннісних орієнтацій тощо. Перехід від психічного до *соціального рівня* є умовним, оскільки психічні властивості особистості не існують поза системою суспільних відносин. Людина є істотою суспільною. Психічне здоров'я

зазнає впливу із боку різних соціальних зв'язків, у тому числі родини, спілкування з друзями й родичами, роботи, дозвілля, релігійних та інших організацій. Наслідки цих впливів можуть носити як позитивний, так і негативний характер. Лише люди зі здоровою психікою звичайно почувають себе активними учасниками в соціальній системі. Особливості виховання, занедбаність і несприятливі умови безпосереднього соціального середовища, зазвичай стають причиною різних форм неадекватної та нездорової поведінки людини в соціумі. Аномалії в розвитку особистості найбільш яскраво заявляють про себе в проявах дисгармонії, в порушенні процесів соціальної адаптації [4].

Автори психологічних наукових підходів доводять, що основою повноцінного розвитку людини є *психологічне* здоров'я. Саме поняття психологічного здоров'я тривалий час входило в базовий зміст психічного здоров'я як його частина і використовувалося щодо психіки здорової людини. Термін «*психологічне здоров'я*» введений відносно нещодавно і сучасна наука розмежовує сфери *психічного* і *психологічного* здоров'я. Англійські «*mentalhealth*» і «*psychologicalhealth*» перекладаються і як «психічне здоров'я» або як «психологічне здоров'я» [4].

Психічне (ментальне) здоров'я – це: рівновага і сталість психіки людини, адекватне сприйняття оточуючого реального світу; нормальне функціонування вищих психічних функцій (сприймання, мислення, уяви, пам'яті, уваги); адекватна регуляція емоційних станів (емоції та почуття); управління власною поведінкою (воля). Отже, **психічне здоров'я** – стан інтелектуально-емоційної сфери, основу якого складає відчуття душевного комфорту, яке забезпечує адекватну поведінкову реакцію.

Психологічне здоров'я людини інтегрує аспекти внутрішнього світу і способи зовнішніх проявів особистості в єдине ціле. Психологічне здоров'я є важливою складовою соціального самопочуття людини, з одного боку, і її життєвих сил, з іншого. Описувані цим поняттям

особистісні характеристики стали предметом подальшого дослідження багатьох авторів і розглядаються в різних аспектах.

Поняття психологічного здоров'я з'являється вперше в гуманістичній психології. Зокрема у роботах А. Маслоу та К. Роджерса. Критерії психологічного здоров'я знаходимо також у когнітивному підході А. Елліса.

На відміну від медичних, саме психологічні критерії здоров'я, як високого рівня особистісного здоров'я, запропонувала М. Яхода (M. Jahoda, 1958), це – позитивна установка стосовно своєї особистості, духовне зростання і самореалізація, інтегрована особистість, автономія, самодостатність, адекватність сприйняття реальності і компетентність у подоланні вимог оточуючого світу. К. Меннінгер називає такі ознаки психологічного здоров'я як відчуття щастя, задоволеність, врівноважений темперамент, інтелектуальність і «взірцева» соціальна поведінка [8].

Г. І. Малейчук, аналізуючи взаємозв'язки психічного та психологічного здоров'я, зазначає, що психологічне здоров'я є вищим рівнем прояву здоров'я психічного. На думку автора, воно визначається ціннісно-смісловими аспектами розвитку особистості [5]. Для визначення норми психологічного здоров'я важлива наявність певних особистісних характеристик, які забезпечують не лише успішну адаптацію, але й продуктивний розвиток людини задля самої себе й суспільства, де вирішальним є саморозуміння, самоприйняття та самовдосконалення.

Експертами Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) сформульовано таке визначення: «Здоров'я – це стан повного фізичного, душевного (психічного) та соціального благополуччя, а не тільки відсутність хвороб. Психічне здоров'я – це набагато більше, ніж просто відсутність фізичних та психічних захворювань. Коли ми говоримо про щастя, душевний спокій, радість або задоволеність, ми говоримо про психічне здоров'я» (*Статут ВООЗ, 1976*).

І зовсім нещодавно виник цілий пласт досліджень позитивного психологічного функціонування. Так, К. Ріфф (1989) вводить поняття психологічного благополуччя і його індикаторів. Е. Дінер (1999) звертається до з'ясування детермінант і наслідків суб'єктивного благополуччя. Наразі, усі дослідження позитивного функціонування особистості об'єднуються під загальним знаменником, який має назву суб'єктивна якість життя (М. Дж. Серджи, 2010; Т. Н. Савченко, Г. М. Головина, 2006; Г. М. Зараковський, 2009).

До сьогодні, різні автори по-різному визначають психологічне здоров'я: як стан балансу між різними аспектами особистості людини (Р. Ассаджолі); як баланс між потребами індивіда і суспільства, який підтримується постійними зусиллями (С. Фрайберг); як процес життя особистості, в якому збалансовані рефлексивні, емоційні, інтелектуальні, поведінкові аспекти (Н. Г. Гаранин, А. Б. Холмогорова); як функція підтримання рівноваги між особистістю та середовищем, адекватної регуляції поведінки і діяльності людини, здатності протистояти життєвим труднощам без негативних наслідків для здоров'я (А. В. Петровський, М. Г. Ярошевський, П. Бейкер). Часто для визначення психологічного здоров'я використовуються синонімічні поняття «сила Я», «духовне здоров'я» (О. В. Двіжона). Внутрішня погодженість компонентів у структурі особистості припускає таке функціонування на всіх рівнях системи, що забезпечує оптимальне і погоджене протікання трьох основних процесів: саморегуляції, соціальної адаптації і самоактуалізації [4; 8].

Одним з ключових моментів проблеми здоров'я людини в контексті психології є питання про основні його ознаки. Серед **особистісних проявів** найбільш відомі такі ознаки психологічного здоров'я:

- оптимізм;
- зосередженість (відсутність метушливості);
- урівноваженість;
- моральність (чесність, совісність й ін.);
- адекватний рівень домагань;
- почуття обов'язку;

- впевненість у собі;
- невразливість (уміння звільнитися від прихованих образ);
- відсутність ліні;
- незалежність;
- безпосередність (природність);
- відповідальність;
- почуття гумору;
- доброзичливість;
- толерантність;
- самоповага;
- самоконтроль.

Серед **психічних станів** найбільш вагомими є такі ознаки психологічного здоров'я:

- емоційна стійкість (самовладання);
- зрілість почуттів відповідно до віку;
- вміння опанувати негативні емоції (страх, гнів, жадібність, заздрість та ін.);
- вільний, природний прояв почуттів і емоцій;
- здатність радіти.

Серед **психічних процесів** найчастіше виокремлюють такі ознаки психологічного здоров'я:

- максимальне наближення суб'єктивних образів до певних об'єктів дійсності (адекватність психічного відображення);
- адекватне самосприйняття;
- уміння зосереджувати увагу на предметі;
- утримання інформації в пам'яті;
- здатність до логічного опрацювання інформації;
- критичність мислення;
- креативність (здатність до творчості, уміння користуватись інтелектом);
- дисципліна розуму (керування думками).

Отже, **психологічне здоров'я** ототожнюється з почуттям внутрішньої узгодженості із власними діями, постійним діалогом із внутрішнім та зовнішнім світом, автентичним існуванням, почуттям авторства життя. З психологічної точки зору Л. А. Руїс психологічне здоров'я розуміє не лише як відсутність хвороби, але наявність оптимальних здібностей, цілеспрямованість у діяльності, спрямованість до досягнення життєво важливих цілей, переважання почуття повноцінного благополуччя, радості життя, особистісне самовизначення.

У цілому, окрім психічного та психологічного, розрізняють ще й фізичне та соціальне здоров'я. З позицій холистичного підходу виділяють декілька складових здоров'я людини. Наприклад, В. А. Ананьев пише про сім потенціалів особистості, що взаємопов'язані й відображають різні аспекти душевного, тілесного та соціального здоров'я: потенціал розуму, потенціал волі, потенціал почуттів, потенціал тіла, суспільний потенціал, креативний та духовний потенціали [2].

Так, Експертами Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) сформульовано таке визначення: «Здоров'я – це стан повного фізичного, душевного (психічного) та соціального благополуччя, а не тільки відсутність хвороб. Психічне здоров'я – це набагато більше, ніж просто відсутність фізичних та психічних захворювань. Коли ми говоримо про щастя, душевний спокій, радість або задоволеність, ми говоримо про психічне здоров'я» (*Статут ВООЗ, 1976*).

Грунтуючись на підході ВООЗ, здоров'я людини визначається як динамічна здатність людини досягнути повноти власних фізичних, психічних і соціальних можливостей, а також відповідати вимогам середовища. Воно є потенціалом та ресурсом організму, що забезпечує можливість усебічного розвитку людини та протистояння актуальним суспільним вимогам.

Розуміння людини як динамічної системи, здатної до саморозвитку і саморегуляції, спричинило появу дефініцій здоров'я як процесу: здоров'я – це процес збереження і розвитку фізіологічних, біологічних і психічних функцій, оптимальної трудової і соціальної активності при максимальній тривалості активного творчого життя. **Здоров'я як процес** стосується пошуку й утримання рівноваги у вигляді навантажень, із якими організм постійно має справу. Процес здоров'я має окреслений у часі розвиток, змінюється у відповідь на зовнішні й внутрішні вимоги, що виникають, і адаптивний до цих вимог. *Здоров'я можна розглядати як процес*, що забезпечує життєдіяльність, необхідну якість життя і його тривалість, а також передумову для

виконання людиною намічених життєвих цілей. Бути здоровим – це цілеспрямована та послідовна робота з повернення людини до самої себе, освоєння свого тіла, розуму, розвиток внутрішнього спостерігача (уміння чути, бачити, почувати себе). Ці ідеї співвідносяться з принципами гуманістичної психології. Її основоположник К. Роджерс вважав людину здоровою, якщо вона довіряє своєму організмові та, як важливе джерело інформації, використовує свої відчуття, почуття й думки, а не поради інших.

Основною функцією психологічного здоров'я є підтримання активного динамічного балансу між людиною і навколишнім середовищем в ситуаціях, що вимагають мобілізації ресурсів особистості. Ключове слово для опису психологічного здоров'я є слово «гармонія» або «баланс». Насамперед, це гармонія між різними аспектами самої людини: емоційними та інтелектуальними, тілесними і психічними. А також гармонія між людиною та оточуючими людьми. Відмінна риса психічно здорової особистості полягає в тому, що в межах її структури процеси саморегуляції, соціальної адаптації і самоактуалізації взаємопов'язані, скоординовані і є складовими єдиного процесу становлення індивідуальності. Враховуючи, що особистість є цілісною, складно організованою структурою, яка має певну логіку індивідуального розвитку, це потребує більш широкого і повного уявлення про здоров'я. Здорова особистість характеризується упорядкованістю і співвідпорядкованістю її елементів, погодженістю процесів, які забезпечують її цілісність і гармонійний розвиток.

Метою роботи є презентація результатів емпіричного дослідження рівня прояву психічного та соціального здоров'я здобувачів вищої освіти ДВНЗ ПДАБА.

У нашому дослідженні ми припускаємо, що здобувачі вищої освіти Придніпровської державної академії будівництва і архітектури, в умовах загальної соціально-економічної нестабільності та соціальної ізоляції, мають певні ознаки порушення психічного та соціального здоров'я, а саме,

підвищені показники тривоги, соціофобій та депресії.

Виклад матеріалу. Для виявлення показників психічного здоров'я здобувачів вищої освіти було проведено опитування на базі Придніпровської державної академії будівництва та архітектури (ПДАБА). Предметом аналізу обрано показники позитивного функціонування та ознаки психічного здоров'я особистості, видів соціальної тривоги та окремих аспектів прояву страху оцінювання у різних ситуаціях, актуального психоемоційного стану (тривожного та депресивного) здобувачів вищої освіти. У дослідженні взяли участь 152 здобувачів освіти 1–3 курсів віком 18...20 років архітектурного, економічного, будівельного та механічного факультетів. Для

проведення дослідження обрано такий психодіагностичний інструментарій: 1. Опитувальник «The Mental Health Continuum – Short Form (MHC-SF) Scoring» Corey L. M. Keyes (2009) – «Безперервність психічного здоров'я – коротка форма» (MHC-SF-UA) в адаптації до української вибірки Е. Л. Носенко, А. Г. Четверик-Бурчак (2014) [6, с. 89–97]; 2. «Опитувальник соціальної тривоги і соціофобії» (ОСТіСФ) авторів О. А. Сагалакової та Д. В. Труєвцева (2012) [7]; 3. «Госпітальна шкала тривоги і депресії» (The Hospital Anxiety and Depression Scale, HADS), розроблена А. С. Зігмундом і Р. П. Снайтом (1983) [1, с. 184–200]. Результати дослідження психічного здоров'я здобувачів вищої освіти ПДАБА наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Відсоткове співвідношення здобувачів вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА з різними рівнями психічного здоров'я (за опитувальником «Безперервність психічного здоров'я – коротка форма» (MHC-SF-UA) в адаптації Е. Л. Носенко, А. Г. Четверик-Бурчак) (N = 152)

Рівень психічного здоров'я	Кількість здобувачів вищої освіти	Відсоток від загальної кількості (%)
Високий рівень	45	29,9
Середній рівень	86	56,4
Низький рівень	21	13,7

Отримані результати наведені на рисунку 1.

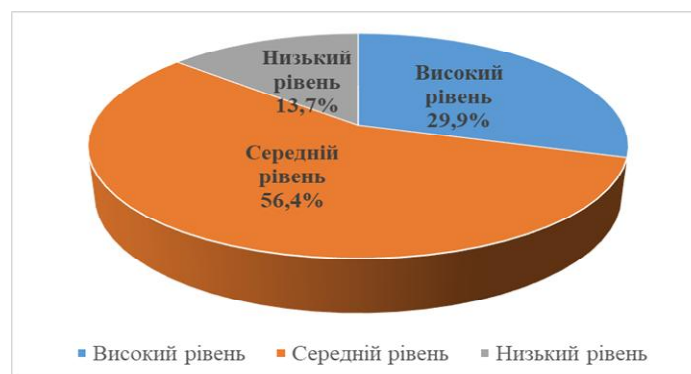


Рис. 1. Відсоткова частка здобувачів вищої освіти

1–3 курсів ПДАБА з різними рівнями психічного здоров'я (за опитувальником «Безперервність психічного здоров'я – коротка форма» (MHC-SF-UA) в адаптації Е. Л. Носенко, А. Г. Четверик-Бурчак) (у %)

Отримані результати свідчать про те, що здобувачі вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА мають переважно помірний рівень психічного здоров'я (56,4 %) від загальної кількості опитаних учасників дослідження. Високий рівень мають 29,9 % і низький

рівень психічного здоров'я виявлено у 13,7 % здобувачів вищої освіти ПДАБА.

Отже, можемо говорити, що переважна кількість здобувачів вищої освіти ПДАБА мають помірний рівень психічного здоров'я, і, відносно, незначна їх кількість мають низький рівень психічного здоров'я. Це свідчить про те, що студентська молодь

ПДАБА має переважно позитивні емоційні стани, певною мірою є незалежними від оточуючого середовища, мають внутрішні ресурси протистояти негативному впливу, є успішними у протидії соціальним викликам та успішності соціально-психологічної

адаптації, що є важливим у психічному здоров'ї людини.

Отримані результати щодо прояву окремих аспектів прояву страху оцінювання у різних ситуаціях здобувачів вищої освіти ПДАБА наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Усереднені показники прояву соціальної тривоги і різних видів соціофобій здобувачів освіти 1–3 курсів ПДАБА за «Опитувальником соціальної тривоги і соціофобії (ОСТіСФ)», авторів О. А.Сагалакової та Д. В.Труєвцева

Види соціофобій	X ср. (бали)	%	Рівень
1. Соціальна тривога в ситуації підвищеної уваги	9,33	44,4	Середній
2. Соціальна тривога в експертно-ситуаційних оціночних ситуаціях	7,59	50,6	Середній
3. Соціальна тривога через страх відторгнення	5,96	39,7	Низький
4. Соціальна тривога через страх критики	8,22	45,7	Середній
5. Уникнення контакту при взаємодії у суб'єктивно значущих ситуаціях	7,92	44,0	Середній
<i>Загальний показник соціальної тривоги</i>	39,22		помірно підвищений

Отримані результати проілюстровані на рисунку 2.

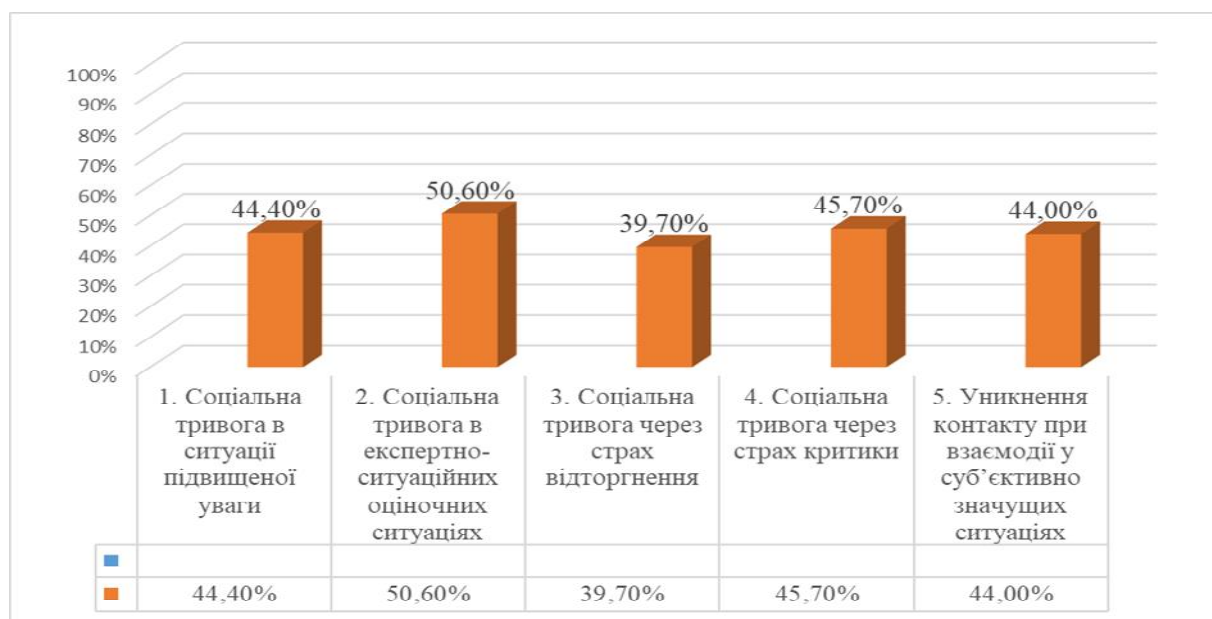


Рис. 2. Усереднені показники прояву соціальної тривоги і різних видів соціофобій здобувачів освіти 1–3 курсів ПДАБА за «Опитувальником соціальної тривоги і соціофобії (ОСТіСФ)», авторів О. А.Сагалакової та Д. В. Труєвцева

Аналіз прояву загального показника соціальної тривоги свідчить про те, що студентська молодь ПДАБА має помірно підвищений її рівень. А аналіз прояву різних видів соціофобій свідчить про переважно низький прояву соціальної тривоги через страх відторгнення 5,96 балів (39,7 %) та середній рівень усіх інших видів – соціальної тривоги в експертно-ситуаційних оціночних ситуаціях 7,59 балів (50,6 %), соціальної тривоги через страх критики 8,22 балів (45,7 %), соціальної тривоги в

ситуаціях підвищеної уваги 9,33 балів (44,4 %), уникнення контакту при взаємодії у суб'єктивно значущих ситуаціях 7,92 бали (44,0 %).

Тобто, бачимо, що найвищий прояв соціальної тривоги здобувачі вищої освіти 1–3 курсів мають в експертно ситуаційних оціночних ситуаціях, через страх критики і в ситуації підвищеної уваги. Найменше вони переживають соціальну тривогу через страх відторгнення.

Отримані результати щодо прояву здобувачів вищої освіти ПДАБА наведені у загального показника соціальної тривоги таблиці 3.

Таблиця 3

Відсоткове співвідношення здобувачів вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА за проявом загального показника соціальної тривоги за «Опитувальником соціальної тривоги і соціофобії (ОСТіСФ)» авторів О. А. Сагалакової та Д. В. Трусвцева (N = 152)

Рівень соціальної тривоги	Кількість здобувачів вищої освіти	Відсоток від загальної кількості (%)
1. Клінічна соціофобія	6	3,7
2. Висока соціальна тривога	34	22,2
3. Підвищена соціальна тривога	45	29,6
4. Помірно підвищена соціальна тривога	28	18,5
5. Епізодичні прояви соціальної тривоги	28	18,5
6. Не виражена соціальна тривога	11	7,4

Аналіз отриманих результатів засвідчує, що у здобувачів вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА переважають підвищений (29,6 %) і високий (22,2 %) рівні соціальної тривоги. Разом високий рівень соціальної тривоги показали 51,8 % студентської молоді, що складає більше половини опитаних. Помірну тривогу мають 18,5 % студентів, епізодично переживають соціальну тривогу також 18,5 % студентів. Разом помірну та

епізодичну соціальну тривогу переживають 37,0 % здобувачів вищої освіти. І взагалі відсутня соціальна тривога лише у 7,4 % здобувачів вищої освіти. Клінічний прояв соціальної тривоги мають 3,7 % (це 6 здобувачів вищої освіти).

Отримані результати наведені на рисунку 3.

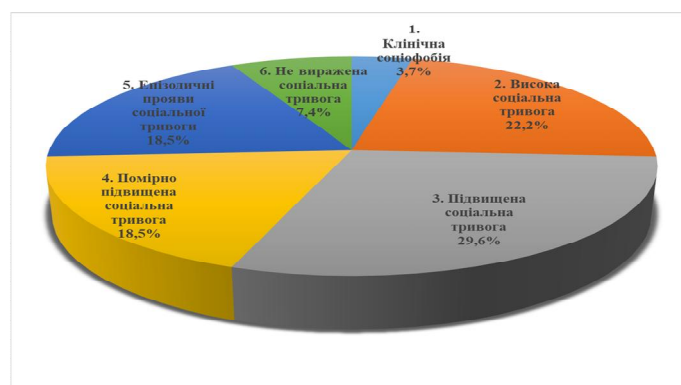


Рис. 3. Відсоткова частка кількості здобувачів вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА за рівнями прояву загального показника соціальної тривоги за «Опитувальником соціальної тривоги і соціофобії (ОСТіСФ)» авторів О. А. Сагалакової та Д. В. Трусвцева (у %)

Результати дослідження негативних здобувачів вищої освіти наведені в таблиці емоційних станів (тривоги та депресії) 4.

Таблиця 4

Відсоткове співвідношення кількості здобувачів вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА за різними рівнями прояву тривоги за «Госпітальною шкалою» (HADS) А. С. Зігмунда і Р. П. Снайта (N = 152)

Рівень тривоги	Кількість здобувачів вищої освіти	Відсоток від загальної кількості (%)
Норма	90	59,6
Субклінічно виражена	24	15,2
Клінічно виражена	38	25,2

Отримані результати проілюстровані на рисунку 4.

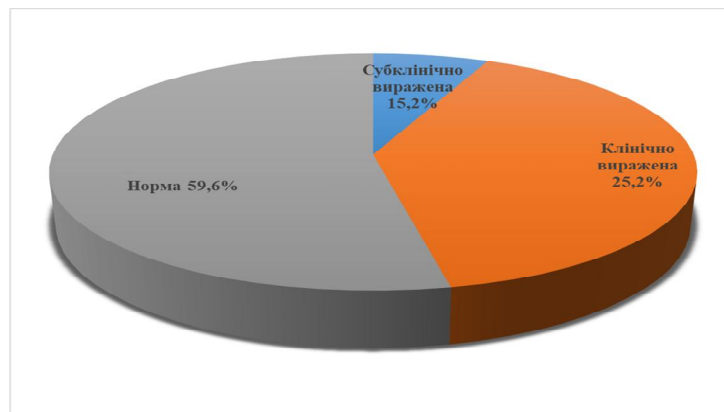


Рис. 4. Відсоткова частка здобувачів вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА за різними рівнями тривоги за «Госпітальною шкалою (HADS)» А. С. Зігмунда і Р. П. Снайта (у %)

Результати засвідчили, що у переважній кількості здобувачів освіти (59,6 %) відсутні ознаки тривоги. Субклінічно виражені ознаки тривоги мають 15,2 % здобувачів освіти, і клінічно виражені ознаки тривоги виявлено у 25,2 % здобувачів вищої освіти

це четверта частина здобувачів вищої освіти).

Результати дослідження рівня прояву депресії здобувачів вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

Відсоткова частка здобувачів вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА за різними рівнями прояву депресії за «Госпітальною шкалою» (HADS) А. С. Зігмунда і Р. П. Снайта (N = 152)

Рівень депресії	Кількість здобувачів вищої освіти	Відсоток від загальної кількості (%)
Норма	102	66,9
Субклінічно виражена	31	20,5
Клінічно виражена	19	12,6

Результати дослідження прояву ознак депресії у здобувачів вищої освіти

1–3 курсів ПДАБА представлені на рисунку 5.



Рис. 5. Відсоткова частка здобувачів освіти 1–3 курсів ПДАБА за різними рівнями прояву депресії за «Госпітальною шкалою» (HADS) А. С. Зігмунда і Р. П. Снайта (у %)

Отримані результати переконливо доводять, що у переважній кількості здобувачів вищої освіти 1–3 курсів (66,9 %) відсутній прояв депресії. Але субклінічно депресія виражена у 20,5% здобувачів вищої освіти (це група ризику розвитку клінічної

форми депресії). І у 12,6 % (це 19 здобувачів вищої освіти) клінічно виражена депресія.

Висновки. Теоретичний огляд сучасних підходів до розуміння здоров'я в цілому та психічного здоров'я, зокрема, засвідчує складність і неоднозначність цього поняття. У більшості сучасних розумінь здоров'я,

особливо тих, що трактують його як процес прагнення до внутрішніх змін і вимог власного організму, підкреслюється його мінливість. Мінливість здоров'я є відображенням успішності людини в реагуванні на виклики і завдання сучасного мінливого світу. Інша сучасна тенденція в науках про здоров'я полягає в позитивному розумінні здоров'я як потенціалу чи ресурсу.

Опитування здобувачів вищої освіти 1–3 курсів ПДАБА щодо їх *психічного здоров'я* показало, що переважна кількість студентів мають високий і середній рівні (86,3 %), але певна частка студентів (13,7 %) показала низький рівень психічного здоров'я.

Емпірично досліджено, що більше половини студентів (51,8 %) мають підвищений і високий рівні *соціальної тривоги*. У незначній кількості студентської молоді відсутня соціальна тривога (7,4 %). Помірно та епізодично переживають соціальну тривогу трохи більше третини (37,0 %) здобувачів вищої освіти. Але й має

місце клінічний прояв соціальної тривоги (3,7 %) серед здобувачів вищої освіти ПДАБА.

Емпірично доведено, що у переважній кількості здобувачів освіти відсутні ознаки загальної тривоги (56,9 %) і депресії (66,9 %). Субклінічно виражену тривогу мають 15,2 % студентів, а клінічно виражену *тривогу* має чверть (25,2 %) студентів 1–3 курсів ПДАБА. Третина з них (33,1 %) мають субклінічно (20,5 %) і клінічно виражену (12,6 %) *депресію*.

Отримані результати можуть бути підказкою щодо проведення профілактичної роботи зі здобувачами вищої освіти з боку психологічної служби ПДАБА. Тобто подальшими шляхами практичної роботи психологічної служби у співпраці з кураторами академічних груп є розробка та впровадження у позанавчальний процес тренінгових занять та індивідуальних консультацій задля збереження та укріплення психічного та соціального здоров'я здобувачів вищої освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агаєв Н. А., Кокун О. М., Пішко І. О., Лозінська Н. С., Остапчук В. В., Ткаченко В. В. Збірник методик для діагностики негативних психічних станів військовослужбовців: метод. посіб. Київ: НДЦ ГП ЗСУ, 2016. 234 с.
2. Ананьев В. А. Основы психологии здоровья. Кн. 1. Концептуальные основы психологии здоровья. Санкт-Петербург: Речь, 2006. 384 с.
3. Галецька І., Сосновський Т. Психологія здоров'я: теорія і практика. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2006. 338 с.
4. Коцан І. Я., Ложкін Г. В., Мушкевич М. І. Психологія здоров'я людини. За ред. І. Я. Коцана. Луцьк: «Вежа», 2011. 430 с.
5. Малейчук Г. И. Психическое и психологическое здоровье: сравнительный анализ понятий. *Психология и школа*. 2004. № 3. С. 24–34.
6. Носенко Е. Л., Четверик-Бурчак А. Г. Опитувальник «Стабільність психічного здоров'я – коротка форма»: опис, адаптація, застосування. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Педагогіка і психологія*. 2014. Т. 22, № 9/1. С. 89–97.
7. Сагалакова О. А., Труевцев Д. В. Опросник социальной тревоги и социофобии [Электронный ресурс]. *Медицинская психология в России: электронный научный журнал*. 2012. № 4 (15). URL: <http://medpsy.ru>.
8. Тимофієва М. П., Двіжона О. В. Психологія здоров'я: навч. посіб. Чернівці: Книги – XXI, 2009. 296 с.
9. Холістична модель здоров'я [Електронний ресурс]. URL: <http://dlse.multycourse.com.ua/ua/page/19/114>.
10. Sheridan E. P., Matarazzo J. D., Boll T. J., Perry N. W., Weiss S. M., Belar S. D. Post-Doctoral Education and Training for Clinical Service Providers in Health Psychology. *Health Psychology*. 1998. № 7. Pp. 1–17.
11. Taylor S. E. *Health Psychology*. New York: McGraw-Hill, 1991. Vol. 2. P. 5.

REFERENCES

1. Ahaiev N.A., Kokun O.M., Pishko I.O., Lozinska N.S., Ostapchuk V.V. and Tkachenko V.V. *Zbirnyk metodyk dlia diahnostryky nehatyvnykh psykhychnykh staniv viiskovoslužhbovtiv: metodychnyi posibnyk* [Collection of methods for diagnosing negative mental states of servicemen: Methodical manual]. Kyiv: NDTsHPZSU, 2016. 234 p. (in Ukrainian).

2. Ananijev V.A. *Osnovy psihologiyi zdorov'a. Kniga 1. Konzeptyal'nye osnovy psihologiyi zdorov'a* [Bases of Health Psychology. Book 1. Conceptual bases of Health Psychology]. Sankt-Peterbyrg: Rech Publ., 2006, 384 p. (in Russian).
3. Haletska I. and Sosnowski T. *Psihologiya zdorov'a: teoriia i praktika* [Health Psychology: Theory and Practice] Lviv: Vidavnychii zentr LNU imeni Ivana Franka, 2006, 338 p. (in Ukrainian).
4. Kozan I.Ia, Logkin G.V. and Myshkevich M.I. *Psihologiyi zdorov'a lydyny* [Health Psychology of human]. By edition I. Kozana. Lyzk: Vega Publ., 2011, 430 p. (in Ukrainian).
5. Maleichyk G.I. *Psihicheskoe i psichologicheskoye zdorov'e: sravnitel'nii analiz poniatii* [Mental and psychological health: comparative analysis of concepts]. *Psihologiya i shkola* [Psychology and School]. 2004, no. 3, pp. 24–34. (in Russian).
6. Nosenko E.L. and Chetverik-Burchak A.G. *Opytyvalnyk «Stabilnist psihichnogo zdorov'a – korotka forma»: opis, adaptaziya, zastosyvannia* [«The Mental Health Continuum – Short Form»: description, adaptation, application]. *Visnyk Dnipropetrovskogo universytetu. Seriya: Pedagogika i psihologiya* [Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series: Pedagogy and Psychology]. 2014, vol. 22, no. 9/1, pp. 89–97. (in Ukrainian).
7. Sagalakova O.A. and Truevtsev D.V. *Oprosnik socialnou trevogi i soziofobii* [Elektronniy resurs] [The social anxiety and social phobias Continuum]. *Medizinskaya psihologiya v Rossii: elektronniyi naychniyi gyrnal* [Medical Psychology in Russia: electronic scientific Journal]. 2012, no. 4 (15). URL: <http://medpsy.ru>. (in Russian).
8. Timofieva M.P. and Dvigona O.V. *Psihologiyi zdorov'a: navchalnii posibnik* [Health Psychology: teach. guidances] Chernivtsi: Knigi – XXI Publ., 2009, 296 p. (in Ukrainian).
9. *Holistichna model zdorov'a* [Holistic model of health]. [Elektronniy resurs]. URL: <http://dlse.multycourse.com.ua/ua/page/19/114>. (in Ukrainian).
10. Sheridan E.P., Matarazzo J.D., Boll T.J., Perry N.W., Weiss S.M. and Belar S.D. Post-Doctoral Education and Training for Clinical Service Providers in Health Psychology. *Health Psychology*. 1998, no. 7, pp. 1–17.
11. Taylor S.E. *Health Psychology*. New York: McGraw-Hill, 1991, vol. 2, p. 5.

Надійшла до редакції: 12.12.2021.

Відповідальність за достовірність інформації, що міститься в друкованих матеріалах,
несуть автори.

Редколегія не завжди поділяє авторську точку зору.

Комп'ютерну верстку виконано в редакційно-видавничому відділі ПДАБА.

Адреса редакції:

✉ вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Україна, м. Дніпро
кімната 501 (відповідальний секретар)

☎ +38(050) 452-43-63

e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com

Підписано до друку 30.12.2021 р. Формат 60×84 1/8.

Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 7,06. Умовн. фарб.-відб. арк. 7,06.

Обл.-видавн. арк. 14,12. Наклад 50 прим. Зам. 174

Authors are responsible for the accuracy of the information
contained in the printed materials.

Editors do not always agree with the author's point of view.

Desktop publishing is performed in the Editorial Department of PSACEA.

Editorial address:

✉ room 501 (Executive Secretary)

24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine

☎ +38 (050) 452-43-63

e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com

Sent to press on 30 December 2021. Format 60×84 1/8.

Digital printing. Conventional quire 7,06. Conventional colour imprints 7,06.

Publisher's signatures 14,12. Number of copies 50. Order 174