

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського

ВІСНИК
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського

Випуск 1/2022 (132)

- **Професійна освіта**
- **Економіка**
- **Менеджмент**
- **Екологія**
- **Комп'ютерні науки**
- **Прикладна механіка**
- **Матеріалознавство**
- **Галузеве машинобудування**
- **Електроенергетика,
електротехніка
та електромеханіка**
- **Електроніка**



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

**ВІСНИК КРЕМЕНЧУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО**

Кременчук: КрНУ, 2022. Випуск 1 (132). 224 с.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

015 Професійна освіта

Беспарточна О. І., к. пед. н., доц., Україна
Загірняк М. В., д. т. н., проф., Україна
Осадча К. П., к. пед. н., доц., Україна
Осадчий В. В., д. пед. н., проф., Україна
Павленко О. О., д. пед. н., проф., Україна
Поясок Т. Б., д. пед. н., проф., Україна
Прошкін В. В., д. пед. н., проф., Україна
Emmerova Ingrid, Ph. D., Prof., Slovakia

051 Економіка

Гришко Н. Є., к. е. н., доц., Україна
Дружиніна В. В., д. е. н., доц., Україна
Маслак О. І., д. е. н., проф., Україна
Почтовюк А. Б., д. е. н., проф., Україна
Труніна І. М., д. е. н., проф., Україна
Ховрак І. В., д. е. н., доц., Україна
Memel-Sniezyk Anna, D. Sc., Ass. Prof., Poland

073 Менеджмент

Загірняк Д. М., д. е. н., проф., Україна
Маслак О. І., д. е. н., проф., Україна
Почтовюк А. Б., д. е. н., проф., Україна
Пряхіна К. А., к. е. н., доц., Україна
Семеніхіна В. В., к. е. н., доц., Україна
Труніна І. М., д. е. н., проф., Україна
Dusek Jiri, Ph. D., Ass. Prof., Czech Republic

101 Екологія

Маренков О. М., к. біол. н., доц., Україна
Мальцева І. А., д. біол. н., проф., Україна
Никифоров В. В., д. біол. н., проф., Україна
Пасенко А. В., к. т. н., доц., Україна
Сакун О. П., к. т. н., доц., Україна
Харламова О. В., д. т. н., доц., Україна
Шмандій В. М., д. т. н., проф., Україна
Andras Peter, Ph. D., Prof., Slovakia

122 Комп'ютерні науки

Гученко М. І., д. т. н., проф., Україна
Істоміна Н. М., к. т. н., доц., Україна
Литвиненко В. І., д. т. н., проф., Україна
Оксанич І. Г., д. т. н., проф., Україна
Перекрест А. Л., д. т. н., доц., Україна
Хайрова Н. Ф., д. т. н., проф., Україна
Шевченко І. В., д. т. н., доц., Україна
Chejka Jiri, Ph. D., Ass. Prof., Czech Republic

131 Прикладна механіка

Воробйов В. В., д. т. н., проф., Україна
Кратковський І. Л., к. т. н., с. н. с., Україна
Курінний В. П., д. т. н., проф., Україна
Кулинич В. Д., к. т. н., Україна
Фролов О. О., д. т. н., проф., Україна
Чебенко В. М., д. т. н., проф., Україна
Iliash Nykolai, Ph. D., Prof., Romania

132 Матеріалознавство

Аргат Р. Г., к. т. н., доц., Україна
Драгобецький В. В., д. т. н., проф., Україна
Мороз М. М., д. т. н., проф., Україна
Пузир Р. Г., д. т. н., доц., Україна
Шаповал О. О., д. т. н., доц., Україна
Шлик С. В., к. т. н., доц., Україна
Praunseis Zdravko, Ph. D., Ass. Prof., Slovenia

133 Галузеве машинобудування

Васильковська К. В., к. т. н., доц., Україна
Лещенко С. М., к. т. н., доц., Україна
Петренко Д. І., к. т. н., доц., Україна
Нестеренко М. М., к. т. н., доц., Україна
Савелов Д. В., к. т. н., доц., Україна
Саленко Ю. С., д. т. н., проф., Україна
Vasiukov Dmytro, Ph. D., Prof., France

**141 Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка**

Загірняк М. В., д. т. н., проф., Україна
Калінов А. І., к. т. н., доц., Україна
Коренькова Т. В., д. т. н., проф., Україна
Прус В. В., д. т. н., проф., Україна
Родькін Д. Й., д. т. н., проф., Україна
Сінчук О. М., д. т. н., проф., Україна
Чорний О. П., д. т. н., проф., Україна
Miljavec Damian, D. Sc., Prof., Slovenia
Shtumberher Boian, Ph. D., Prof., Slovenia

171 Електроніка

Єрохов В. Ю., д. т. н., проф., Україна
Лозінський В. Б., к. т. н., доц., Україна
Оксанич А. П., д. т. н., проф., Україна
Притчин С. Е., д. т. н., проф., Україна
Когдась М. Г., к. т. н., доц., Україна
Критська Т. В., д. т. н., проф., Україна
Klyui M. I., D. Sc., Prof., China

Головний редактор – М. В. Загірняк, дійсний член (академік) Національної академії педагогічних наук України, д. т. н., професор

Заступник головного редактора – В. В. Никифоров, д. б. н., професор

Виконавчий редактор – В. В. Латишева, к. ю. н., доцент

Науково-технічний редактор – Є. Є. Лашко, к. т. н.

Відповідальний секретар – М. В. Бігдан (англійська мова).

Науковий журнал видається з 1996 року. «Вісник КрНУ» внесено до групи «Б» переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук і доктора філософії (кандидата наук) зі спеціальностей: 015 Професійна освіта, 051 Економіка, 073 Менеджмент, 101 Екологія, 122 Комп'ютерні науки, 131 Прикладна механіка, 132 Матеріалознавство, 133 Галузеве машинобудування, 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 171 Електроніка (накази МОН України від 07.11.18 № 1218 і від 18.12.18 № 1412).

Видання надсилається до провідних наукових бібліотек України, а його електронна версія зберігається у Національній бібліотеці України імені В.І. Вернадського. Журнал індексується у загальнодержавній базі даних «Україніка наукова» (реферативний журнал «Джерело»), а також у міжнародних наукометричних базах даних «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLIBRARY», «Index Copernicus», «Polish Scholarly Bibliography», «Infobase Index», «Inspec», «Open Academic Journals Index», «Google Scholar» і «Scientific Indexing Services».

«Вісник КрНУ» видається за рішенням Вченої ради Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (протокол від 28.03.2022 р. № 6). Свідectvo про державну реєстрацію друкованих засобів масової інформації серії КВ № 18771–7571 ПР від 30.01.2012.

Журнал публікує після рецензування, редагування та перевірки на оригінальність статті, які містять результати досліджень з питань розвитку науки, освіти і виробництва, впровадження нових результатів фундаментальних досліджень і прикладних розробок у таких галузях знань: освіта, соціальні та поведінкові науки, управління та адміністрування, природничі науки, інформаційні технології, механічна інженерія, електроніка та телекомунікації, електрична інженерія.

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

ISSN 1995-0519 (print)
ISSN 2072-8263 (online)

© Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського, 2022

Адреса редакції: вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600. Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, НДЧ, кімн. 3211. т. +380688247608; E-mail: visnik@krmu.poltava.ua; website: www.visnikkrmu.kdu.edu.ua/

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

TRANSACTIONS
OF KREMENCHUK MYKHAILO OSTROHRADSKYI
NATIONAL UNIVERSITY

Issue 1/2022 (132)

- **Vocational Education**
- **Economics**
- **Management**
- **Ecology**
- **Computer Science**
- **Applied Mechanics**
- **Materials Science**
- **Industrial Machinery Engineering**
- **Power Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics**
- **Electronics**



PUBLISHING HOUSE
HELVETICA
2022

**TRANSACTIONS OF KREMENCHUK
MYKHAILO OSTROHRADSKYI NATIONAL UNIVERSITY**

Kremenchuk: KrNU, 2022. Issue 1 (132). 224 p.

EDITORIAL BOARD

015 Vocational Education

Bespartochna O. I., Ph. D. (Educ.), Ass. Prof., Ukraine
Zagirnyak M. V., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Osadcha K. P., Ph. D. (Educ.), Ass. Prof., Ukraine
Osadchyi V. V., D. Sc. (Educ.), Prof., Ukraine
Pavlenko O. O., D. Sc. (Educ.), Prof., Ukraine
Poiasok T. B., D. Sc. (Educ.), Prof., Ukraine
Proshkin V. V., D. Sc. (Educ.), Prof., Ukraine
Emmerova Ingrid, Ph. D., Prof., Slovakia

051 Economics

Hryshko N. Ye., Ph. D. (Econ.), Ass. Prof., Ukraine
Druzhynina V. V., Dr. Sc. (Econ.), Prof., Ukraine
Maslak O. I., D. Sc. (Econ.), Prof., Ukraine
Pochtoviuk A. B., D. Sc. (Econ.), Prof., Ukraine
Trunina I. M., D. Sc. (Econ.), Prof., Ukraine
Khovrak I. V., D. Sc. (Econ.), Ass. Prof., Ukraine
Mempel-Sniezyk Anna, D. Sc., Ass. Prof., Poland

073 Management

Zagirniak D. M., Dr. Sc. (Econ.), Prof., Ukraine
Maslak O. I., Dr. Sc. (Econ.), Prof., Ukraine
Pochtoviuk A. B., D. Sc. (Econ.), Prof., Ukraine
Pryakhina K. A., Ph. D. (Econ.), Ass. Prof., Ukraine
Semenikhina V. V., Ph. D. (Econ.), Ass. Prof., Ukraine
Trunina I. M., Dr. Sc. (Econ.), Prof., Ukraine
Dusek Jiri, Ph. D., Ass. Prof., Czech Republic

101 Ecology

Marenkov O. M., Ph. D. (Biol.), Ass. Prof., Ukraine
Maltseva I. A., D. Sc. (Biol.), Prof., Ukraine
Nykyforov V. V., D. Sc. (Biol.), Prof., Ukraine
Pasenko O. V., Ph. D. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Sakun O. P., Ph. D., Ass. Prof., Ukraine
Kharlamova O. V., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Shmandiy V. M., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Andras Peter, Ph. D., Prof., Slovakia

122 Computer Science

Huchenko M. I., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Istomina N. M., Ph. D. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Lytvynenko V. I., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Oksanich I. H., Ph. D. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Perekrest A. L., D. Sc. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Khairova N. F., Dr. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Shevchenko I. V., D. Sc. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Chejka Jiri., Ph. D., Ass. Prof., Czech Republic

131 Applied Mechanics

Vorobiov V. V., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Kratkovskiy I. L., Ph. D. (Eng.), S. R., Ukraine
Kurinni V. P., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Kulynych V. D., Ph. D. (Eng.), Ukraine
Frolov O. O., Dr. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Chebenko V. M., Dr. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Iliash Nykolas, Ph. D., Prof., Romania

132 Materials Science

Arhat R. H., Ph. D., Ass. Prof., Ukraine
Drahobetskyi V. V., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Moroz M. M., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Puzyr R. H., Dr. Sc. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Shapoval O. O., Dr. Sc. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Shlyk S. V., Ph. D., Ass. Prof., Ukraine
Praunseis Zdravko, Ph. D., Ass. Prof., Slovenia

133 Industrial Machinery Engineering

Vasylkovska K. V., Ph. D., Ass. Prof., Ukraine
Leshchenko S. M., Ph. D., Ass. Prof., Ukraine
Petrenko D. I., Ph. D., Ass. Prof., Ukraine
Nesterenko M. P., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Savielov D. V., Ph. D. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Salenko Yu. S., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Vasiukov Dmytro, Ph. D., Prof., France

**141 Power Energetics, Electrical Engineering
and Electromechanics**

Zagirnyak M. V., Dr. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Kalinov A. I., Ph. D. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Korenkova T. V., D. Sc. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Prus V. V., D. Sc. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Rodkin D. I., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Sinchuk O. M., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Chornyi O. P., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Miljavec Damian, D. Sc., Prof., Slovenia
Shtumberher Boian, Ph. D., Prof., Slovenia

171 Electronics

Yerokhov V. Yu., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Lozinskyi V. B., Ph. D. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Oksanich A. P., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Pritchyn S. E., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Kohdas M. H., Ph. D. (Eng.), Ass. Prof., Ukraine
Krytska T. V., D. Sc. (Eng.), Prof., Ukraine
Klyui M. I., D. Sc. (Phys-Math.), Prof., China

Editor-in-chief – M. Zagirnyak, Active member of The National Academy of Pedagogic Sciences of Ukraine, D. Sc. (Eng.), Prof.

Deputy Editor-in-Chief – V. V. Nykyforov, D. Sc. (Biol.), Prof.

Executive Editor – V. V. Latysheva, Ph. D. (Law), Ass. Prof.

Science Editor – Ye. Ye. Lashko, Ph. D. (Eng).

Executive Editor – M. V. Bigdan (English).

The journal has been published since 1996. «Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University» is included in the «B» group in the list of scientific professional editions of Ukraine in which the results of dissertations for the scientific degrees of the Doctor of Sciences and the Doctor of Philosophy (Candidate of Sciences) in the following specialties: 015 Vocational Education, 051 Economics, 073 Management, 101 Ecology, 122 Computer Science, 131 Applied Mechanics, 132 Materials Science.

The edition is sent to the leading scientific libraries of Ukraine, and its electronic version is stored in Vernadsky National Library of Ukraine. The journal is indexed in the «*Ukrainika Naukova*» national database (the «*Dzherelo*» abstract journal), as well as in the «*Ulrich's Web Global Serials Directory*», «*eLIBRARY*», «*Index Copernicus*», «*Polish Scholarly Bibliography*», «*Infobase Index*», «*Inspecc*», «*Open Academic Journals Index*», «*Google Scholar*» and «*Scientific Indexing Services*» international scientometric databases.

The journal is published by the decision of the Academic Council of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (Record No. 6 of March 28, 2022). Registration Certificate of the state registration of printed mass media: series KV No. 18771–7571 PR of January 30, 2012.

The journal publishes papers which were reviewed, edited and verified as to their originality and availability of the results of research in the development of science, education and production, the implementation of new results of fundamental research and applied developments in the following areas of knowledge: education, social and behavioral sciences, management and administration, natural sciences, information technology, mechanical engineering, electronics and telecommunications, electrical engineering.

The articles checked for plagiarism using the software StrikePlagiarism.com from the Polish company Plagiat.pl.

ISSN 1995-0519 (print)
ISSN 2072-8263 (online)

© Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 2022

Address of the editorial office: vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600. Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Scientific and Research Department, r. 3211. t. +380688247608; E-mail: visnik@krnu.poltava.ua; website: www.visnikkrnu.kdu.edu.ua/

ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

ОГЛЯД ДЕФІНІЦІЙ ПОНЯТЬ «ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ» ТА «ІНФОРМАЦІЙНЕ ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ».....	13
<i>Ірина Бабійчук, Олена Косовець, Олена Соя</i>	
LANGUAGE ASSESSMENT OF AVIATION SAFETY THREATS AND RISKS.....	19
<i>Svitlana Grynyuk, Iryna Zaytseva</i>	
COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE APTITUDES OF STUDENTS OF GEOENGINEERING EDUCATION.....	27
<i>Igor Yermeyev, Alina Dychko</i>	
ЗАЛУЧЕННЯ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИКЛАДАННІ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ АГРОТЕХНІЧНОГО СПРЯМУВАННЯ.....	33
<i>Сергій Єрмаков, Владлен Девін, Василь Ткачук, Дарія Вільчинська</i>	
ТЕНДЕНЦІЇ У ОСВІТНЬО-НАУКОВОМУ ПРОСТОРІ: ПРОБЛЕМИ ТА РИЗИКИ.....	40
<i>Ігор Козубцов, Олексій Бескровний, Леся Козубцова, Анастасія Палагута, Ольга Мироненко</i>	
КЛІПОВЕ МИСЛЕННЯ ЯК НАУКОВО-МЕТОДИЧНА ПРОБЛЕМА У ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ.....	49
<i>Галина Корчова</i>	
РОЗВИТОК УМІНЬ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ МАЙБУТНІХ ПЕДАГОГІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ.....	55
<i>Юрій Красильник</i>	
МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДОТЕРАПІЇ ЯК ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГО-ВАЛЕОЛОГІЧНОГО ВИХОВАННЯ ТА КОРЕКЦІЇ ЗДОРОВ'Я УЧНІВ ІЗ ОСОБЛИВОСТЯМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО РОЗВИТКУ.....	61
<i>Валентина Мелаш, Світлана Дубяга, Анастасія Варениченко</i>	

ЕКОЛОГІЯ

THE MEASURING MONITORING NETWORK OF TOXIC POLLUTANTS IN ECOSYSTEM FOR THE SUSTAINABLE ENVIRONMENT.....	68
<i>Valeriia Lytvynenko, Alina Dychko, Igor Yermeyev</i>	

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В УНІВЕРСИТЕТАХ ПІД ЧАС ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ.....	79
<i>Сергій Близнюк, Олег Онофрійчук</i>	
ЗАДАЧА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ КЕРУВАННІ ПРОЄКТАМИ У МУНІЦИПАЛЬНІЙ СФЕРІ ТА ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ КАРТ.....	85
<i>Денис Васильєв, Ігор Шевченко</i>	
ПРАВИЛА ТА МЕТОД ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ УКЛАДАННЯ ДОГОВОРУ ПРО НАДАННЯ ТЕРАПЕВТИЧНИХ ПОСЛУГ.....	92
<i>Єлизавета Гнатчук</i>	
ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКИХ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ.....	100
<i>Ніна Давиденко, Валерій Ліщина, Сергій Куніцький</i>	
IMPROVING THE CRYPTOGRAPHIC PROTECTION OF CONFIDENTIAL INFORMATION IN THE MANAGEMENT OF CIVIL PROTECTION FORCES AND MEANS.....	108
<i>Ruslan Melnyk, Olga Melnyk</i>	

КОМБІНАТОРНА ЗАДАЧА ПРО ПОБУДОВУ МОСТІВ ТА МЕТОДИ ЇЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ.....	115
<i>Юрій Олексійчук, Дмитро Ольховський, Олена Ольховська, Тетяна Чілікіна, Оксана Черненко, Оксана Орхівська</i>	

CORE PHP AND PHP FRAMEWORKS: COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO APPROACHES FOR BACKEND DEVELOPMENT.....	122
<i>Marian Slabinoha</i>	

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

ПОСИЛЕННЯ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НИЖНІХ ШАРІВ МАСИВУ ПІД ЧАС ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ.....	127
<i>Лариса Воробйова, Віктор Воробйов, Ірина Пєєва, Андрій Черницький</i>	

ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ВИБУХОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ МАСИВУ, ЩО РУЙНУЄТЬСЯ.....	133
<i>Віталій Долударєв, Вячеслав Єлістратов, Ірина Солошич, Яна Долударєва</i>	

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ РУД КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО РАЙОНУ.....	141
<i>Віта Равінська, Микола Сокур, Роман Аргат, Володимир Білецький</i>	

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ.....	149
<i>Микола Сокур, Роман Аргат, Володимир Білецький, Віта Равінська</i>	

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ КУЗОВНИХ І ОБЛИЦЮВАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТУ.....	157
<i>Ігор Кузєв, Володимир Драгобецький, Сергій Шлик, Дмитро Молоштан</i>	

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

ТЕРМОДИНАМІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИКЛУ ТЕПЛООВОГО НАСОСА «ГРУНТ-ВОДА» ДЛЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ.....	165
<i>Микола Босий, Володимир Кропівний, Олександр Кузик</i>	

THEORETICAL STUDY OF DAMPING PROPERTIES INFLUENCE OF SPECIAL TOOLHOLDER WITH AN ORIENTED CENTER OF RIGIDITY ON VIBRATION RESISTANCE WHILE TURNING.....	173
<i>Serhii Vakulenko</i>	

ВПЛИВ ТОВЩИНИ ДИСКРЕТНОГО ГЛОБУЛЯРНОГО ПОКРИТТЯ, НАНЕСЕНОГО НА РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ ТА РЕЖИМІВ СВЕРДЛІННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ЗІ СКЛОПЛАСТИКА.....	180
<i>Євген Корбут, Валерія Парненко, Тетяна Ніколаєнко, Сергій Майданюк</i>	

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ РОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНЬ ПО ВИСОТІ НАПІВФАБРИКАТУ З ПОЛІМЕРНОГО БЕТОНУ ПІД ЧАС ЙОГО ПОВЕРХНЕВОГО ВІБРАЦІЙНОГО УЩІЛЬНЕННЯ.....	186
<i>Дмитро Савєлов</i>	

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

ВРАХУВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ ТА ГЕОМОРФОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ПІДЗЕМНУ ГІДРОСФЕРУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ ТЕПЛОНАСОСНИХ СИСТЕМ.....	192
<i>Олексій Зур'ян</i>	

MITIGATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ELECTRICITY TRANSMISSION: EFFECT OF DECIDUOUS TREES ON ELECTRIC FIELD CAUSED BY OVERHEAD POWER LINES.....	203
<i>Yevhenii Trotsenko, Artem Nesterko, Yuliia Peretyatko, Mandar Dixit</i>	

ЕЛЕКТРОНІКА

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ СУМІШІ РІДКИХ КРИСТАЛІВ З ВИПАРАМИ ЛЕТКИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК.....	212
<i>Григорій Барило, Зиновій Микитюк, Ірина Кремер, Юрій Качурак, Назар Барило</i>	
ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ СТРУМОЗБИРАЮЧОЇ ГРЕБІНКИ ПРИ ФОРМУВАННІ АНТИВІДБИВНИХ ШАРІВ ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТА.....	218
<i>Валерій Єрохов, Ігор Скрипник</i>	

TABLE OF CONTENT

VOCATIONAL EDUCATION

OVERVIEW OF DEFINITIONS OF CONCEPTS “DIGITAL TECHNOLOGIES” AND “INFORMATION AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT”.....	13
<i>Iryna Babychuk, Olena Kosovets, Olena Soia</i>	
LANGUAGE ASSESSMENT OF AVIATION SAFETY THREATS AND RISKS.....	19
<i>Svitlana Grynyuk, Iryna Zaytseva</i>	
COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE APTITUDES OF STUDENTS OF GEOENGINEERING EDUCATION.....	27
<i>Igor Yeremeyev, Alina Dychko</i>	
INVOLVEMENT OF COGNITIVE INFORMATION IN THE TEACHING OF TECHNICAL MECHANICS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS OF AGRO-TECHNICAL DIRECTION.....	33
<i>Serhii Yermakov, Vladlen Devin, Vasyl Tkachuk, Dariia Vilchynska</i>	
TRENDS IN THE EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC SPACE: PROBLEMS AND RISKS.....	40
<i>Ihor Kozubtsov, Oleksiy Beskrovnyi, Lesia Kozubtsova, Anastasia Palaguta, Olga Myronenko</i>	
CLIP THINKING AS SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL PROBLEM IN PROFESSIONAL EDUCATION.....	49
<i>Halyna Korchova</i>	
DEVELOPMENT OF VISUALIZATION SKILLS OF EDUCATIONAL INFORMATION IN FUTURE PROFESSIONAL EDUCATION TEACHERS.....	55
<i>Yurii Krasyl'nyk</i>	
METHODS OF USING NATURE THERAPY AS A TECHNOLOGY OF ECOLOGICAL AND VALEOLOGICAL EDUCATION AND CORRECTION OF HEALTH OF STUDENTS WITH INTELLECTUAL DISABILITIES.....	61
<i>Valentyna Melash, Svitlana Dubiaha, Anastasiia Varenychenko</i>	

ECOLOGY

THE MEASURING MONITORING NETWORK OF TOXIC POLLUTANTS IN ECOSYSTEM FOR THE SUSTAINABLE ENVIRONMENT.....	68
<i>Valeriia Lytvynenko, Alina Dychko, Igor Yeremeyev</i>	

COMPUTER SCIENCE

ENSURING OF THE INFORMATION SECURITY IN UNIVERSITIES DURING THE MARTIAL LAW.....	79
<i>Serhii Blizniuk, Oleh Onofriychuk</i>	
THE PROBLEM OF SUPPORTING DECISION-MAKING PROJECT MANAGEMENT IN THE MUNICIPAL SPHERE AND PREREQUISITES FOR THE USE OF FUZZY COGNITIVE.....	85
<i>Denys Vasyliiev, Igor Shevchenko</i>	
RULES AND METHOD OF DECISION-MAKING SUPPORT ABOUT THE POSSIBILITY ABOUT CONCLUDING THE CONTRACT ON THE PROVISION OF THERAPEUTIC SERVICES.....	92
<i>Yelyzaveta Hnatchuk</i>	
FORMALIZATION AND DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR MONITORING THE FUNCTIONING OF URBAN ENGINEERING NETWORKS.....	100
<i>Nina Davydenko, Valeriy Lishchyna, Serhii Kunytskyi</i>	

TABLE OF CONTENT

IMPROVING THE CRYPTOGRAPHIC PROTECTION OF CONFIDENTIAL INFORMATION IN THE MANAGEMENT OF CIVIL PROTECTION FORCES AND MEANS.....	108
<i>Ruslan Melnyk, Olga Melnyk</i>	

COMBINATORIAL PROBLEM OF BUILDING BRIDGES AND METHODS OF ITS SOLUTION.....	115
<i>Yuriy Oleksiychuk, Dmytro Olkhovsky, Olena Olkhovska, Tatiana Chilikina, Oksana Chernenko, Oksana Orikhivska</i>	

CORE PHP AND PHP FRAMEWORKS: COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO APPROACHES FOR BACKEND DEVELOPMENT.....	122
<i>Marian Slabinoha</i>	

APPLIED MECHANICS

STRENGTHENING THE DYNAMIC NAVANTAGE OF THE LOWER BALLS IN THE ARRAY DURING THE VIBUCHA OF THE SUPERBOARD CHARGE.....	127
<i>Larisa Vorobyova, Viktor Vorobyov, Irina Pieieva, Andrii Chernytskyi</i>	

PHYSICAL ASPECTS OF EXPLOSIVE LOAD CONTROL OF A DESTROYING MASS.....	133
<i>Vitalii Doludariiev, Viacheslav Yelistratov, Iryna Soloshych, Yana Doludarieva</i>	

FEATURES OF TECHNOLOGY OF ENRICHMENT OF DIFFERENT TYPES OF IRON OREES OF POLTAVA DEPOSIT.....	141
<i>Volodymyr Biletskyi</i>	

SELECTION OF RATIONAL PRINCIPLE SCHEME OF IRON QUARTZ ENRICHMENT.....	149
<i>Mykola Sokur, Roman Argat, Volodymyr Biletskyi, Vita Ravinska</i>	

MATERIALS SCIENCE

A MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF REPAIR TECHNOLOGIES FOR BODY AND FACING PARTS OF GROUND TRANSPORT.....	157
<i>Ihor Kuziev, Volodymyr Drahobetskyi, Sergii Shlyk, Dmytro Moloshtan</i>	

INDUSTRIAL MACHINERY ENGINEERING

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE HEAT PUMP CYCLE FOR THE SPACE HEATING SYSTEM.....	165
<i>Mykola Bosiy, Volodymyr Kropivny, Oleksandr Kuzyk</i>	

THEORETICAL STUDY OF DAMPING PROPERTIES INFLUENCE OF SPECIAL TOOLHOLDER WITH AN ORIENTED CENTER OF RIGIDITY ON VIBRATION RESISTANCE WHILE TURNING.....	173
<i>Serhii Vakulenko</i>	

INFLUENCE OF THICKNESS OF DISCRETE GLOBULAR COATING APPLIED ON CUTTING TOOLS AND DRILLING MODES ON ROUGHNESS OF SURFACE FIBER PLASTIC DETAIL.....	180
<i>Korbut Ievgen, Valeriia Parnenko, Tetiana Nikolaienko, Serhii Maidaniuk</i>	

THE RESEARCH OF THE NATURE OF THE STRESS DISTRIBUTION OVER THE HEIGHT OF A SEMI-FINISHED POLYMER CONCRETE PRODUCT DURING ITS SURFACE VIBRATION COMPACTION.....	186
<i>Dmytro Savielov</i>	

POWER ENERGETICS, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

TAKING INTO ACCOUNT ANTHROPOGENIC LOAD AND GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS ON THE UNDERGROUND HYDROSPHERE IN THE DESIGN HYDROTHERMAL HEAT PUMP SYSTEMS.....	192
<i>Oleksii Zurian</i>	

TABLE OF CONTENT

MITIGATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ELECTRICITY TRANSMISSION: EFFECT OF DECIDUOUS TREES ON ELECTRIC FIELD CAUSED BY OVERHEAD POWER LINES.....	203
<i>Yevhenii Trotsenko, Artem Nesterko, Yuliia Peretyatko, Mandar Dixit</i>	

ELECTRONICS

STUDY OF THE DURATION OF TRANSIENT PROCESSES DURING THE INTERACTION OF A MIXTURE OF LIQUID CRYSTALS WITH VAPORS OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS.....	212
<i>Hryhorii Barylo, Zynovii Mykytiuk, Iryna Kremer, Yurii Kachurak, Nazar Barylo</i>	
TECHNOLOGY OF USING CURRENT-COLLECTING COMB IN THE FORMATION OF ANTI-REFLECTIVE LAYERS OF POROUS SILICON SOLAR CELL.....	218
<i>Valery Yerokhov, Ihor Skrypnyk</i>	

ОГЛЯД ДЕФІНІЦІЙ ПОНЯТЬ «ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ» ТА «ІНФОРМАЦІЙНЕ ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ»

Ірина Бабійчук

вчитель інформатики кафедри інформатики та інноваційних технологій в освіті

Обласний науковий ліцей-інтернат комунального закладу вищої освіти «Вінницький гуманітарно-педагогічний коледж», вул. Нагірна, 13, Вінниця, Україна, 21000, albedaloraine@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-9197-8092

Олена Косовець

кандидат педагогічних наук,

старший викладач кафедри математики та інформатики

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, вул. Острозького, 32, Вінниця, Україна, 21000, kosovets.op@vspu.edu.ua;

ORCID: 0000-0001-8577-3042

Олена Соя

кандидат педагогічних наук,

старший викладач кафедри математики та інформатики

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, вул. Острозького, 32, Вінниця, Україна, 21000, soia.om@vspu.edu.ua;

ORCID: 0000-0002-0937-299X

У статті здійснено огляд логічної структури дефініцій понять «цифрові технології» та «інформаційне освітнє середовище». На основі аналізу українських літературних джерел, нами з'ясовано, що в наукових колах та національних законодавчих документах не існує єдиного підходу до визначення поняття «цифрові технології». Активне використання сучасних цифрових технологій в умовах змішаного та дистанційного навчання сприяє формуванню нового інформаційного освітнього середовища учасників освітнього процесу. Досліджуючи сучасні цифрові технології в контексті реалізації цифрової освіти в Україні, у статті звертаємо увагу на переваги застосування в освітньому процесі хмарних технологій. Поняття «інформаційне освітнє середовище» по-різному визначається сучасною психолого-педагогічною наукою, що демонструє ємкість його сутності та альтернативність поглядів дослідників. Інформаційне освітнє середовище у сукупності із сучасними цифровими технологіями сприяють формуванню особливого освітнього середовища в закладах освіти, інтенсифікують комунікативні зв'язки суб'єктів навчального процесу, доповнюють безпосереднє спілкування через сучасні методи, форми та засоби навчання для інтерактивної взаємодії. Педагогічні особливості інформаційного освітнього середовища і використання цифрових технологій в умовах дистанційного та змішаного навчання ініціює появу нових освітніх практик, що відповідно сприяє трансформації освітньої системи в цілому.

Ключові слова: цифрові технології, цифрові освітні технології, інформаційне освітнє середовище.

Цінності освіти XXI століття характеризуються ініціативністю та спрямованістю на становлення та оновлення особистісних якостей, креативністю, критичним мисленням, високою соціальною активністю та компетентністю учасників освітнього процесу у здійсненні соціальних взаємодій. Науковцями Н. Морзе, В. Вембер, М. Гладун зазначається, що впровадження цифрових технологій є важливим для всіх сфер і галузей освіти [1, с. 29].

У Концепції «Нова українська школа» акцентується увага, що «наскрізне застосування інформаційно-комунікаційних технологій в освітньому

процесі та управлінні закладами освіти і системою освіти має стати інструментом забезпечення успіху нової української школи» [2, с. 8]. За цих умов, актуальним вважаємо дослідження поняття і сутності цифрових технологій та можливостей їх застосування в освітньому процесі ЗЗСО.

На основі аналізу літературних джерел, нами з'ясовано, що в наукових колах та національних законодавчих документах не існує єдиного підходу до визначення поняття «цифрові технології». У класичному розумінні О. Антонова та Л. Фамілярська тлумачать його як «...електронний спосіб обробки та передачі інформації за

допомогою знаків кодування, що використовуються у комп'ютерній техніці та комп'ютерних технологіях...» [3, с. 13]. О. Берназюк визначає цифрові технології як «...технології, в яких застосовуються цифрові сигнали для передачі інформації...» [4, с. 84]. Зауважимо також, що у багатьох державних законодавчих документах досліджувана дефініція часто ототожнюється із поняттями «електронні ресурси», «цифрова інформація». Зокрема, у Положенні «Про Національну освітню електронну платформу» [5], яка є технологічним забезпеченням реформи середньої освіти «Нова українська школа», визначено основні завдання, функції, структура, засади її функціонування та базові поняття: електронний кабінет, електронні підручники, електронні освітні ресурси тощо.

Метою статті є аналіз психолого-педагогічних та дидактичних наукових досліджень для демонстрації ємкості та альтернативності поглядів українських науковців щодо тлумачень дефініцій «цифрові технології» та «інформаційне освітнє середовище».

Актуальною для нашого дослідження є думка Л. Фамілярської [6], яка узагальнюючи підходи науковців до визначення цифрових технологій, визначає їх як «...технології, що забезпечують процес кодування різного виду інформації, що візуалізується засобами комп'ютерної техніки...». Зазначимо, що в межах дослідження, поряд із означеним поняттям «цифрові технології» нами розглянуто похідну дефініцію «цифрові освітні технології», яку на основі аналізу літературних джерел [2–6], визначаємо як сучасні інформаційно-комунікаційні технології, хмарні сервіси та технічні засоби організації цифрового опрацювання навчальних матеріалів суб'єктами освітнього процесу [6].

Як показують проведені психолого-педагогічні та дидактичні дослідження (В. Биков, М. Жалдак [7], Н. Морзе [8], О. Спірін [9]) методики навчання на основі цифрових технологій здатні забезпечити студентоцентроване навчання, адаптацію до особливих освітніх потреб та здібностей, урахувати індивідуальні можливості та інтереси учасників освітнього процесу, стимулювати розвиток їхньої самостійності й творчості, надати доступ до нових джерел інформації, використання комп'ютерного моделювання досліджуваних процесів й об'єктів тощо. У своїх дослідженнях Н. Морзе [8] та О. Спірін [9] розглядають поняття сучасної цифрової освіти, визначаючи її як «...об'єднання різних компонентів і найсу-

часніших технологій завдяки використанню цифрових платформ, упровадженню нових інформаційних та освітніх технологій, застосуванню прогресивних форм організації освітнього процесу та активних методів навчання, а також навчально-методичних матеріалів...».

Досліджуючи сучасні цифрові технології в контексті реалізації цифрової освіти в Україні, науковці А. Гуржій, Р. Гуревич і М. Кадемія [10] звертають увагу на переваги застосування в освітньому процесі хмарних технологій та побудованих на їх основі мережевих сервісів. Нині хмарні технології – це технології вільного доступу до зовнішніх обчислювальних інформаційних ресурсів у вигляді сервісів, що надаються за допомогою мережі Інтернет.

На думку В. Бикова і М. Жалдака [7, с. 49] «...головна відмінність хмарних сервісів від звичного методу роботи з програмним забезпеченням полягає в тому, що користувач використовує не ресурси свого комп'ютера, або сервера своєї локальної мережі, а потужності, які надаються йому як Інтернет-послуга. При цьому користувач має повний доступ до власних даних і можливість роботи з ними з будь-якої точки світу і з будь-якого пристрою, але не утрудняє себе управлінням операційною системою, програмною базою, обчислювальними потужностями, за допомогою яких ця робота відбувається...».

Цифрова трансформація української освіти має на меті підвищення її якості, досягнення нових освітніх результатів, що відповідали б вимогам сучасного цифрового суспільства. Розвиток цифрової освіти ініціює появу нових освітніх практик, що в свою чергу сприяє трансформації освітньої системи в цілому.

Як слушно зауважує А. Заїка [11], «...цифрові технології, в умовах сучасних освітніх реалій, спрямовані на опанування новими засобами пошуку, застосування та перероблювання навчальної або наукової інформації, а саме: засобами комп'ютерної техніки, Інтернету, аудіо та відеотехніки. Цифрові технології сприяють формуванню особливого цифрового середовища в закладі освіти, інтенсифікують комунікативні зв'язки суб'єктів навчального процесу, доповнюють безпосереднє спілкування через сучасні засоби...».

Проблеми впровадження цифрових технологій, у тому числі й хмарних технологій, в освітній процес висвітлено в роботах В. Бикова, М. Жалдака [7], Н. Морзе [8], О. Спіріна [9], Р. Гуревича, А. Гуржія, М. Кадемії [10], М. Козяр, Т. Ткаченко,

Л. Шевченко [13] та ін. Досліджуючи праці означених науковців, можемо стверджувати, з-поміж цифрових освітніх технологій особливої уваги заслуговують хмарні технології, що стали особливо популярними у зв'язку із переходом освітнього процесу в «онлайн-режим» в умовах дистанційного та змішаного навчання.

Проаналізувавши матеріали Всеукраїнського науково-методичного Інтернет-семінару, проведеного Інститутом інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України, присвяченого тенденціям розвитку хмарних технологій, розробці віртуальних навчальних середовищ, програмним забезпеченням хмарного середовища, безпеки хмарних технологій, соціальними мережами, засобами Веб 2.0, хмарними технологіями мобільного навчання, зауважимо, що серед напрямів застосування цифрових технологій хмарні технології є одними з найбільш привабливих для освітян [7]. Причиною цього є те, що одержати доступ до «хмари» можна не лише з ПК, але й з будь-якого пристрою, підключеного до мережі Інтернет. А для роботи програмного забезпечення «хмари» використовуються потужності віддаленого серверу без їх установки, доступ до хмари можуть мати одночасно тисячі людей, що мають права доступу.

Активне використання сучасних цифрових технологій в умовах дистанційного навчання сприяє формуванню нового інформаційного освітнього середовища учасників освітнього процесу. Інформаційне освітнє середовище є складовою віртуального освітнього середовища, яке можна трактувати як іммерсивне навчальне онлайн-середовище, яке має методологічно цілісну систему навчання, забезпечує відкритий інтерактивний динамічний процес навчання у віртуальному просторі з використанням сучасних цифрових технологій, що враховує індивідуальні освітні особливості студента [12].

Розглянемо логічну характеристику, представлену українськими науковцями, щодо дефініції поняття «інформаційне освітнє середовище».

У наукових працях Н. Морзе, О. Спіріна, О. Кравчини, О. Трубіциної, А. Кудіна презентовано інформаційне освітнє середовище як освітню систему, що забезпечує відкритість, варіативність, індивідуалізацію навчання, його адаптацію до здібностей, можливостей, інтересів суб'єктів педагогічної взаємодії, розвиток їхньої самостійності та творчості, доступ до нових джерел навчальної інформації, мотивацію самоосвітньої діяльності, формування інформаційної компетентності тощо.

Таблиця 1 – Дефініції поняття «інформаційне освітнє середовище»

О. Ільченко	ІОС – системно організована сукупність інформаційного, технічного, навчально-методичного забезпечення, яке нерозривно пов'язане з людиною як суб'єктом освітнього процесу [14].
О. Соколова	ІОС – організаційно-методичні засоби, сукупність технічних і програмних засобів зберігання, оброблення, передавання інформації, що забезпечують оперативний доступ до інформації і здійснення освітніх наукових комунікацій [15].
О. Кравчина	ІОС – це система, у якій на інформаційному рівні задіяні та пов'язані між собою всі учасники освітнього процесу: адміністрація закладу – педагоги – учні – батьки [15].
В. Ясвін	вважає, що ІОС ґрунтується на інтеграції інформації (на традиційних і електронних носіях), комп'ютерно-телекомунікаційних технологій взаємодії, віртуальних бібліотек, розподілених баз даних, навчально-методичних комплексів і розширеного апарату дидактики [16].
В. Биков, В. Кухаренко	ІОС постійно розвивається, уможливорює реалізацію нових раціональних підходів, застосування інноваційних форм і методів навчання [13].
А. Кудін, Н. Морзе, О. Спірін	ІОС забезпечує сприятливі умови для особистісного та професійного розвитку активної, творчої, компетентної особистості, здатної до рефлексії, розв'язання різноманітних проблем (навчальних, дослідницьких, побутових), створення нових знань, ефективного визначення своєї життєвої позиції [8].
О. Трубіцина	Трактує ІОС як створювану суб'єктами освіти систему, здатну до саморозвитку, у якій між суб'єктами й компонентами встановлюються зв'язки й відносини на основі інформаційної діяльності для досягнення освітніх завдань. Це означає, що таке середовище має розглядатися у двох аспектах: як програмно-технічний комплекс і як педагогічна система, а отже, у його проектуванні повинні вирішуватися не тільки проблеми інформаційно-програмового характеру, але й психолого-педагогічні питання [17].
І. Якиманська	Чим різноманітніше освітнє інформаційне середовище, тим ефективніше процес навчання з урахуванням індивідуальних можливостей кожного, його інтересів, нахилів, суб'єктивного досвіду, який накопичений в навчанні і реальному житті. Виокремимо дві основні ідеї: по-перше, необхідність різноманітності середовища навчання, що можливе із використанням засобів ІКТ; по-друге, вимога індивідуалізації навчання, адаптації його до пізнавальних потреб та інтересів тих, хто навчається [15].

Поняття «інформаційне освітнє середовище» (ІОС) по-різному тлумачиться сучасною психолого-педагогічною наукою, що демонструє ємкість його сутності та альтернативність поглядів дослідників. В. Биков пропонує визначати ІОС як «...матеріально-технічне, психолого-педагогічне, дидактичне, комунікативне забезпечення освітнього процесу, що включає засоби навчання, які базуються на застосуванні можливостей сучасних цифрових технологій, та забезпечує ефективну взаємодію суб'єктів освітнього процесу в умовах дистанційного та змішаного навчання.» [13]. Власні дефініції поняття «інформаційного освітнього середовища» (ІОС) мають у своєму науковому доробку відомі українські вчені (таблиця 1).

Для порівняння частотності вживання розглянутих термінів у наукових роботах українських дослідників, які доступні у повному обсязі для ознайомлення, нами було використано пошук у Google Scholar за період з 2018 року по 2022 рік. Результати запиту за ключовими словами «цифрові технології» (2360 робіт) та «інформаційне освітнє середовище» (81 робота) свідчать про актуальність обраної теми дослідження; широке коло наукових досліджень та напрямків, у яких використовуються цифрові технології; професійну спрямованість застосування поняття «інформаційне освітнє середовище», що зустрічається в основному в наукових дослідженнях з педагогіки та психології. Пошук одночасного використання поєднання словосполучень «цифрові технології» + «інформаційне освітнє середовище» зустрічається лише в 11 вільнопоширюваних повнотекстових роботах науковців України.

Отже, інформаційне освітнє середовище у сукупності із сучасними цифровими технологіями сприяють формуванню особливого освітнього середовища в закладах освіти, інтенсифікують комунікаційні зв'язки суб'єктів навчального процесу, доповнюють безпосереднє спілкування через сучасні методи, форми та засоби навчання для інтерактивної взаємодії. Зазначені педагогічні особливості інформаційного освітнього середовища і використання цифрових технологій в умовах дистанційного та змішаного навчання ініціює появу нових освітніх практик, що відповідно сприяє трансформації освітньої системи в цілому.

Перспективою подальших досліджень вбачаємо здійснення аналізу дефініцій понять «цифрові технології» та «інформаційне освітнє середовище» іноземними науковцями, а також

подання порівняльної характеристики цих наукових тлумачень від вітчизняних та зарубіжних дослідників.

ЛІТЕРАТУРА

1. Морзе Н. В., Вембер В. П., Гладун М. А. 3D картування цифрової компетентності в системі освіти України. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. Том 70. № 2. С. 28–42.
2. Міністерство освіти і науки України. Концепція Нової української школи. 2016. URL: <https://mon.gov.ua/ua/tag/nova-ukrainska-shkola>
3. Антонова О., Фамілярська Л. Використання цифрових технологій в освітньому середовищі закладу вищої освіти. *Електронне наукове фахове видання «Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету»*, 2019. С. 10–22. URL: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2019s2>
4. Берназюк О. О. Проблема наукового визначення поняття цифрових технологій у праві. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія Право. 2017. Випуск 47. Том 2. С. 83–86.
5. Про затвердження Положення про Національну освітню електронну платформу : Наказ; МОН України від 22.05.2018 № 523. *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0702-18>
6. Фамілярська Л. Цифрові технології в роботі вчителя початкових класів НУШ. *Освіта України*. 2021. URL: <https://www.ra-ou.com.ua/index.php?id=589>
7. Биков В. Ю., Жалдак М. І. Хмарні технології в освіті. *Матеріали Всеукраїнського науково-методичного Інтернет-семінару. ІТЗН НАПН України*. 2018. URL: <https://www.twirpx.com/file/1909983>
8. Морзе Н. В. Впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у навчально-виховний процес закладів професійно-технічної освіти. К. : Арт Економі, 2011. 168 с.
9. Спірін О. М. Інформаційно-комунікаційні та інформатичні компетентності як компоненти системи професійно-спеціалізованих компетентностей вчителя інформатики. 2009. URL: <http://ime.edu-ua.net/em13/emg.html>
10. Гуржій А. М., Гуревич Р. С., Кадемія М. Ю. Інформаційно-комунікаційні технології у професійно-технічній освіті : монографія у 2 частинах. Ч. 2. Вінниця : ФОП Тарнашинський, 2016. 358 с.
11. Заїка А. Використання цифрових технологій у професійній підготовці. *Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція «Інноваційні моделі розвитку науково-методичної компетентності педагогів професійної школи у системі безперервної освіти»*. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/338197277_vikorisanna_cifrovih_tehnologij_u_profesijnij_pidgotovci
12. Kovtoniuk M. M., Kosovets O. P., Soia O. M., Tyutyu L. A. Virtual educational environments: the main trends in the use of modern digital technologies in higher education institutions. *Educational Technology Quarterly*, 2022. V. 2. URL: <https://doi.org/10.55056/etq.v2022.i2>

13. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти : монографія. К. : Атіка, 2008. 684 с.

14. Кадемія М. Ю., Козяр М. М., Ткаченко Т. В., Шевченко Л. С. Інформаційне освітнє середовище сучасного навчального закладу. Львів : СПОЛОХ, 2008. 186 с.

15. Гуревич Р. С., Кадемія М. Ю., Шевченко Л. С. Інформаційні технології навчання: інноваційний підхід : навч. посіб. Вінниця : Планер, 2013. 499 с.

16. Гаврилюк В. Ю. Теоретичні аспекти створення та функціонування інформаційно-освітнього середовища сучасного позашкільного навчального закладу. *Народна освіта*. 2016. № 3. С. 49.

17. Жук Ю. О., Соколюк О. М., Дементієвська Н. П., Пінчук О. П. Організація навчальної діяльності у комп'ютерно орієнтованому навчальному середовищі : навч. посіб. К. : Педагогічна думка, 2012. 128 с.

OVERVIEW OF DEFINITIONS OF CONCEPTS “DIGITAL TECHNOLOGIES” AND “INFORMATION AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT”

Iryna Babychuk

Teacher of Computer Science of the Department of Informatics and Innovative Technologies in Education Vinnytsia Humanitarian and Pedagogical College, Regional Scientific Lyceum-Boarding School of the Municipal Institution of Higher Education, 13 Nahirna str., Vinnytsia, Ukraine, 21000, albedaloraine@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-9197-8092

Olena Kosovets

Candidate of Pedagogical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Mathematics and Informatics

Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, 32 Ostrozkoho, str., Vinnytsia, Ukraine, 21000, kosovets.op@vspu.edu.ua;

ORCID: 0000-0001-8577-3042

Olena Soia

Candidate of Pedagogical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Mathematics and Informatics

Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, 32 Ostrozkoho, str., Vinnytsia, Ukraine, 21000, soia.om@vspu.edu.ua;

ORCID: 0000-0002-0937-299X

The article reviews the logical structure of the definitions of “digital technologies” and “information educational environment”. Based on the analysis of Ukrainian literary sources, we found that in scientific circles and national legislation there is no single approach to the definition of “digital technology”. The active use of modern digital technologies in distance learning contributes to the formation of a new information educational environment for participants in the educational process. Researching modern digital technologies in the context of the implementation of digital education in Ukraine, the article draws attention to the benefits of using cloud technologies in the educational process. The concept of “information educational environment” is defined differently by modern psychological and pedagogical science, which demonstrates the capacity of its essence and the alternative views of researchers. The information educational environment in combination with modern digital technologies contributes to the formation of a special educational environment in the educational institution, intensifies the communicative connections of the subjects of the educational process, complements direct communication through modern methods, forms and means of learning for interactive interaction. Pedagogical features of the information educational environment and the use of digital technologies in distance and blended learning initiates the emergence of new educational practices, which in turn contributes to the transformation of the educational system as a whole.

Key words: digital technologies, digital educational technologies, information-educational environment.

REFERENCES

1. Morse, N., Wember, V., Gladun, M. (2019). 3D mapping of digital competence in the education system of Ukraine. Information technologies and teaching aids. Volume 70. No. 2. Pp. 28–42.

2. Ministry of Education and Science of Ukraine. (2016). The concept of the New Ukrainian School. URL: <https://mon.gov.ua/ua/tag/nova-ukrainska-shkola>

3. Antonova, O., Familyarska, L. (2019). The use of digital technologies in the educational environment of higher education. *Electronic scientific professional publication “Open educational e-environment of a modern university”*, pp. 10–22. URL: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2019s2>

4. Bernazyuk, O. (2017). The problem of scientific definition of the concept of digital technologies in law.

Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Law series. Issue 47. Volume 2. Pp. 83–86.

5. The Verkhovna Rada of Ukraine. (2018). On approval of the Regulations on the National Educational Electronic Platform: Order; MES of Ukraine from 22.05.2018 № 523. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0702-18>

6. Familiar, L. (2021). Digital technologies in the work of primary school teachers NUS. *Education of Ukraine*. URL: <https://www.ra-ou.com.ua/index.php?id=589>

7. Bykov, V., Zhaldak, M. (2018). Cloud technologies in education : materials of the All-Ukrainian scientific-methodical Internet-seminar. *IITZN NAPS of Ukraine*. URL: <https://www.twirpx.com/file/1909983>

8. Morse, N. (2011). Introduction of information and communication technologies in the educational process of vocational education. K. : Art Economics, 168 p.

9. Spirin, O. (2009). Information-communication and information competencies as components of the system of professionally-specialized competencies of a computer science teacher. URL: <http://ime.edu-ua.net/em13/emg.html>

10. Gurzhiy, A., Gurevich, R., Kademiya, M. (2016). Information and communication technologies in vocational education: monograph in 2 parts. Part 2. Vinnytsia : FOP Tarnashinsky. 358 p.

11. Zaika, A. (2019). The use of digital technologies in training. All-Ukrainian scientific-practical Internet-

conference “Innovative models of development of scientific-methodical competence of teachers of vocational schools in the system of continuing education”. URL: https://www.researchgate.net/publication/338197277_vikorisanna_cifrovih_tehnologij_u_profesijnij_pidgotovci

12. Kovtoniuk, M., Kosovets, O., Soia, O., Tyutyu, L. (2022). Virtual educational environments: the main trends in the use of modern digital technologies in higher education institutions. *Educational Technology Quarterly*. V. 2. URL: <https://doi.org/10.55056/etq.v2022.i2>

13. Bikov, V. (2008). Models of organizational systems of open education : a monograph. K. : Атика. 684 p.

14. Academy, M., Kozyar, M., Tkachenko, T., Shevchenko, L. (2008). Information educational environment of a modern educational institution. Lviv : SPOLOH. 186 p.

15. Gurevich, R., Kademiya, M., Shevchenko, L. (2013). Information technologies of training: innovative approach: textbook. way. Vinnytsia : Planer. 499 p.

16. Gavrilyuk, V. (2016). Theoretical aspects of creation and functioning of information and educational environment of modern out-of-school educational institution // *Public education*. № 3. Pp. 49.

17. Zhuk, Yu., Sokolyuk, O., Dementievskaya, N., Pinchuk, O. (2012) Organization of educational activities in a computer-oriented learning environment : textbook. way. K. : Pedagogical thought. 128 p.

Стаття надійшла 21.03.2022

LANGUAGE ASSESSMENT OF AVIATION SAFETY THREATS AND RISKS

Svitlana Grynyuk

PhD (Candidate of Pedagogical Sciences),

Associate Professor at the Department of Foreign Languages for Mathematical Faculties

Taras Shevchenko National University of Kyiv, 60 Volodymyrska str., Kyiv, Ukraine, 01033, grynyuk.svetlana@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-8019-759X**Iryna Zaytseva**

PhD (Candidate of Pedagogical Sciences),

Associate Professor at the Department of Foreign Philology and Translation

Kyiv National University of Trade and Economics, 19, Kyoto str., Kyiv, Ukraine, 02156, irenenazaruk8@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-6556-0779

The article focuses on language assessment of aviation safety threats and risks. The basic characteristics and specific features of radio exchange interaction have been accentuated. The gist of “a communication failure” has been examined. It has been emphasized various factors that cause a communication failure. The importance of researching professional competence of prospective aviation operators (pilots and air traffic controllers) has been justified. The typology of exercises for making the educational process of prospective aviation operators more effective is described. It also summarizes the findings on the students’ language difficulties in the course of aviation English language training (language errors while using radio exchange phraseology; linguistic errors while using spoken language; audio errors; subject errors).

The article also discusses the introduction of the International Aviation Language Proficiency Requirements. It highlights ICAO standards and recommended practices concerning language proficiency requirements.

Key words: Aviation English, Aviation safety, Language assessment, Language difficulties, Radio exchange.

Aviation safety has become one of the most important issues of aeronautical system. Safety experts are constantly seeking means to improve safety in order to reduce the already low accident rates. Thus, in recent years more attention has been focused on human factors that contribute to accidents. Communication is one of them and the emphasis is placed on it, meanwhile the role of language proficiency and language use in aviation incidents and accidents are being covered.

Research has shown that studies in the field of aviation English language training covers a wide range of issues, though, not many have been done on the language assessment of aviation safety threats and risks; and not many have received a proper reflection in special literature. The studies considered the issue of specialists’ training of radio exchange interaction only from the perspective of foreign language communicative competence of an aviation specialist. In our opinion, the analysis of radio exchange interaction peculiarities along with the process of formation the professional communicative competence of prospective aviation operators (pilots and air traffic controllers) will clarify the question of language assessment of safety threats and risks in aviation and open the prospects for

students’ self-realization in their future professional environment as well as in communication with foreign colleagues.

It is worth to mention that these days the training of students is provided under drastic global and national changes. Firstly, the outbreak of the COVID-19 pandemic which has created a new paradigm of ‘life in social distancing’. In the sector of higher education most universities were forced to shift from conventional, face-to-face instruction to distance teaching and learning [1; 2]. Secondly, in light of the Russian Invasion of Ukraine and the threat the war poses on civilians, including academics and students who continue their work.

The objective of the current study is to consider the issue of language assessment of safety threats and risks in aviation, describing and analyzing the basic characteristics and specific peculiarities of radio exchange and the factors which cause a communication failure; highlighting the ICAO standards and recommended practices concerning language proficiency requirements; outlining the professional communicative competence of a prospective aviation operator and summarizing the students’ language difficulties (language errors while using radio exchange phraseology; linguistic

errors while using spoken language; audio errors; subject errors) in the course of aviation English language training.

To achieve the aim of our study, at the various stages of the research, the following methods were used: theoretical methods (analysis and synthesis, comparison and generalization, analogy), methods of structural-functional and systematic and activity approaches.

We assume that taking into consideration the specific features of radio exchange interaction, communication failures which can arise in the process of conducting radio exchange, the impact of various factors on communication failures; and understanding the typical students' errors while learning a professionally oriented language will minimize the probability and limit the language failures in their future professional field.

Radio exchange interaction, its characteristics, features, communication failures and the factors which cause them. The development of modern science and technology leads to the emergence of specialized spheres of human activity, which predetermines the emergence of specialized communication areas. The life of the communication participants depends on the level of proficiency in a professional sub-language. The language of professional communication of aviation specialists covers specific radio voice communication in the mode "air traffic controllers – aircrew" while operating a flight (flight communication); communication of aircrew with ground personnel (maintenance specialists, ground support crews, etc.) to ensure the organization of the flight and its safety (ground communication); communication with passengers usually done indirectly as aircrew announcements or directly in certain flights, if there arise situations in the cabin that require cockpit crew intervention to ensure flight safety. Thus, the aviation sub-speech provides the process of professional communication of aviators in preparation for the flight and in the process of its implementation.

Aviation English (also known as Radiotelephony, Airspeak, or Skytalk) is one of the varieties of language for professional or specific purposes (LSP – Language for Specific Purposes), invented for a field of aviation professional activity, which has specific features and is fundamentally different from General English (GE). In Aviation language special terminology is used to provide effective, clear, concise exchange of information. Besides, Aviation English has its own alphabet, and it consists not of letters, but of words. It has been invented in order to avoid

misunderstanding due to noise or other situations. Pilots and air traffic controllers use these words to spell the letters and numbers in the message. The key in ensuring flight safety is air-ground communication, that is, radio exchange between the air traffic controller and the pilot. To ensure the safety of participants, it is necessary to comply with the rules of professional communication, which is considered a component of the professional reliability of air traffic controllers and pilots. The professional discourse of civil aviation radiotelephony interaction plays a significant part in providing safety both aircraft operation and traffic control as discussed by Petrashchuk [3].

Civil Aviation Radiotelephony Interaction (RTF), or Radio Exchange is realized in bilateral exchange of information by means of radio communication equipment between the aircraft crew and ground control services and/or other aircraft, as well as internal radio communication between crew members. The main communicative aim of RTF is successful interaction which includes informing (message), request, and control of the aircraft by ground services. To achieve the aim, aviation operators should be ready to use plain language in their professional environment – a more natural language and non-coded, used in emergency conditions during the flight, for example, such as flight into deteriorating weather or a medical problem of a passenger. It means that phrases of an aviation specialist under the circumstances of danger should be concise and understandable to take necessary actions. Moreover, his or her speech should not contain slang idioms and colloquial expressions.

Since interaction takes place over the radio, contextual conditions for aviation linguistic safety include some evident factors, such as "good working radio equipment, effective language competence assessments – particularly for international aviation" as discussed by De-Matteis [4].

The basic characteristics of radiotelephony interaction are the following as discussed by Kyrychenko [5]: 1) conciseness, which provides a concise expression of certain content with a minimum number of language tools; 2) clarity, or a clear demarcation of similar language means, which prevents their confusion; 3) unambiguity, for instance the use of language with a value that does not allow misinterpretation of the statement.

As a process of distant communication, radio exchange interaction has a number of its own specific characteristics: 1) perception of information about objects of control and the system itself (the process of looking for information, its

decoding, extraction of significant information etc.); 2) processing of information (decision-making, highlighting problem situations, comparing them); 3) making a decision based on the data obtained in the process of analyzing the information; 4) conveying the information about the decision, the implementation of actions; 5) control of the conveyed information/command performed by the crew; 6) action coordination of the crew.

There are many features of radio exchange communications that make it more difficult for users of English as a foreign language. Firstly, communication in another language is stressful. Secondly, there is no visual contact using radio exchange, making it even more difficult than face-to-face communication, where we also receive information through non-verbal channels, including body language and facial expressions. Consequently, flight and airplane control in radio exchange communications with linguistic barriers and no visual cues leads to many stressful factors.

In the process of conducting radio exchange a communication failure can appear due to various factors: complexity of information, which leads to misunderstanding; psycholinguistic factors: inadequate anticipation of a situation; language factors: lack of knowledge of phraseology, incorrect pronunciation of English words or the co-speaker has a strong accent; psycho-physiological factors: distraction due to fatigue and switching from one problem to another, stress; technical factors: technical problems with connection that causes obstacles and bad audibility in the air. In such conditions “the crew may lose their communication reliability and adequacy, revealing the traditional elements of frustration: confusion, lack of emotional stability, loss of courage and determination, volitional qualities, resistance to long-term monotonous work, reduced attention functions when reacting to information, switching to native language in extreme situations and emergencies” as discussed by Moskalenko [6]. One of the difficulties for both pilots and air traffic controllers that lead to a communication failure is to distinguish voices sounding at the same time. So, the content of English language training of aviation operators, includes necessary working procedures, basic speech intentions and typical ways of their implementation, lexical and grammatical units used in these communicative situations.

ICAO policy on language proficiency. Flight safety is ensured both by the performance of high professionalism and mobilization readiness of pilots and air traffic controllers to act either in standard or in

emergency situations. Accident investigators found a common contributing element: insufficient English language proficiency on the part of the flight crew or a controller had played a contributing role in the chain of events leading to the accident. Any failure or mistake in perception or transmission the information in English contains a serious risk of regular operation system disruption “Dispatcher – Crew – Aircraft – Environment” and, thus, poses a threat to flight safety.

The analysis of aviation events related to the “human factor” in the operation of the “Dispatcher – Crew – Aircraft – Environment” system using the English language has become a serious argument for ICAO to consider aviation English as one of the risk factors along with errors in piloting, aircraft failures, difficult meteorological conditions, etc. Prior to the introduction of the Common English Language requirements by ICAO, it was also possible to fly and navigate air traffic without English. “There were times when one flight crew member could speak English and air traffic controllers worked with the help of an interpreter” as discussed by Grynyuk [7]. The initial reason for ICAO’s decision to develop standard rules for the use of the English language was the resonant catastrophes.

In March 1977 at Tenerife Airport, when 583 people died in a collision at the runway when two B-747s of KLM and PanAm took off. This catastrophe is still the largest casualty rate in world civil aviation. In investigating the crash, it was found that the participants had different levels of aviation English, and there was a misuse of common English phrases in those cases where only standard phraseology was to be used. In 1978 another “language” catastrophe followed already in the air, when the British Trojan 38 and the Yugoslavian DS-9 collided in the zone of responsibility of Zagreb ATC. At the most critical moment, in the conditions of intensive air traffic, the air traffic controller turned to Croatian instead of English. At that time, it was the biggest airplane collision in the civil aviation. There were also cases when pilots in the Spanish and French skies moved from English to Spanish or French. At the same time, English-speaking pilots became “lazy” and did not use the correct phraseology while communicating with air traffic controllers [7; 9].

ICAO had to pay very serious attention not only to details, but also to the depth of aviation English proficiency of pilots and air traffic controllers. In 2000, the Proficiency Requirements in Common English Study Group (PRICESG) convened for the first time. PRICESG was established by

the Air Navigation Commission to assist ICAO in advancing the language competency task, which included, among other elements, the following aspects: 1) to carry out a comprehensive review of existing provisions concerning all aspects of air-ground and ground-ground voice communications in international civil aviation, aimed at the identification of deficiencies and/or shortcomings; 2) to develop ICAO provisions concerning standardized English language testing requirements and procedures; 3) to develop minimum skill level requirements in the common usage of the English language [8].

Concern over the role of language in accidents led to the adoption of ICAO Assembly Resolution A32-16, in which the ICAO Council was urged to direct the Air Navigation Commission to consider this matter with a high degree of priority and complete the task of strengthening relevant ICAO provisions concerning language requirements, with a view to obligating Contracting States to take steps to ensure that air traffic control personnel and flight crews involved in flight operations in airspace where the use of the English language is required are proficient in conducting radiotelephony communications in the English language. Thus, in March 2003, the ICAO Council adopted a set of Standards and Recommended Practices (SARPS), which increased the English language proficiency requirements for pilots and ATC air traffic controllers involved in international flights. According to these English proficiency requirements, the ICAO standard phraseology should be used whenever possible, and when the phraseology is not applicable, ATC pilots and air traffic controllers should demonstrate a minimum level of spoken language proficiency. From 5 March 2008, ATC pilots, ATC air traffic controllers and aircraft station operators were to demonstrate an ability to speak and understand the language used for radio exchange communications, due to the ICAO Scale 4 holistic criteria and language proficiency scale. The purpose of the ICAO language proficiency requirements is to ensure that the language proficiency of pilots and air traffic controllers is sufficient to reduce miscommunication, allow pilots and air traffic controllers to recognize and solve potential miscommunication. The language should be a tool to identify and solve a potential problem before it becomes a disaster. Rather than language playing a contributing role, the object of ICAO language proficiency requirements is for language to play a problem-avoiding role.

The language proficiency requirements and Rating Scale were developed to assess speaking and listening

proficiency for aeronautical radiotelephony communications. The requirements were also developed for use in assessing proficiency in all languages used for radiotelephony communications. The scope and focus of the ICAO Language Proficiency Rating Scale are specific [8]: the ICAO Rating Scale addresses only spoken language; it does not address reading and writing skills;

- the ICAO Rating Scale has a distinct aeronautical radiotelephony focus; it addresses the use of language in a work-related aviation context, voice-only communications, using strategic competences for safe communications in case of complications or unexpected turn of events, and emphasizing intelligibility in an international community of users;

- ICAO Operational Level 4 does not target high degrees of grammatical correctness or native-like pronunciation. Grammar, syntax, vocabulary and pronunciation are judged primarily to the extent that they do not interfere with effective oral communication;

- the final rating is not the average or aggregate of the ratings in each of the six ICAO language proficiency skills but the lowest of these six ratings.

The enhanced language proficiency requirements had been adopted precisely to improve the reliability of radio communications in situations where the standard phraseology was not sufficient. ICAO Member States should ensure that their use of phraseology is as close to the standard ICAO phraseology as possible. Standard phraseology is the minimum required level of professional communicative foreign language competence. Native speakers and other experienced users of English should be aware of the dangers, learn strategies to improve intercultural communication, refrain from using idioms, colloquialisms and other jargon in radio exchange communication, and adjust the rate of speech. The minimum level of English proficiency for an aviation specialist is level 4 on the ICAO scale—Operational. An aviation specialist who masters level 4 should have a clear and good pronunciation, correct stress, rhythm of speech and intonation. Speech tempo isn't slow; the speaker should be ready for spontaneous conversation. "Answers are usually immediate, accurate and informative" as discussed in ICAO Manual [8]. Since ICAO requires the mandatory use of English "at the request of any aircraft station and at all ground stations serving their assigned airports and routes that are used to provide international air communications", and most flights operated by Ukrainian airlines are operated ATC

bodies in the airspace of our state are international, then the language of radio exchange for Ukrainian pilots and air traffic controllers is English, that is, a foreign language that is specially studied by these specialists in order to become an instrument of their reliable and effective professional activity. Thus, the main goal of prospective air operators' training is the formation of professional communicative competence.

Formation of professional communicative competence of a prospective aviation specialist.

Today special requirements have been put forward on a modern aviation specialist – a professional who is able to solve problems of theoretical and practical significance, make decisions in different situations, and have emotional resistance to extreme conditions in the field of aviation professional activity. It implies that prospective aviation pilots and air traffic controllers should have sufficient knowledge of English to perform their professional activities [9; 10; 11; 13].

A communicative approach is focused on learning through communication and forming a professional, who can speak fluently, discuss topics referring his professional activity without difficulties, etc. A competence-based approach presupposes the orientation of professional education. The main requirement in the implementation of competence-based approach is to create conditions for students to solve problems, give them the opportunity to see their achievements. The recommendations of the Inter-Aviation Committee indicate the need to develop “targeted comprehensive programs on all aspects of the influence of the human factor on flight safety” as discussed elsewhere [9; 12; 13].

Communicative and competence-based approaches play a significant role in the formation of prospective aviation specialists' communicative competence which defines the degree of their readiness to future professional activity. Communicative competence of prospective pilots and air traffic controllers consists of professional knowledge, skills and abilities: ability to solve problems which occurs in professional and socio-cultural language environment as discussed elsewhere [9; 10; 11; 13].

The analysis of radio exchange interaction peculiarities and the requirements for professional communicative competence allow us to model the typology of exercises for pilots and air traffic controllers' professional training. While elaborating the complex of exercises we took into account the following aspects: psycholinguistic features, information overload, high pace of work, work

in stressful conditions, the pilot's dependence on extra-linguistic factors influencing the quality of radiotelephony interaction etc.

In our opinion, the described below exercises can facilitate the air operators' training process and help coping with real difficulties of professional communication: 1) exercises to develop pronunciation skills: fluency, pace, emphasis of words, clarity of pronunciation; 2) exercises to develop the ability to perceive messages under adverse conditions: due to various obstacles and specifically created difficulties (the numbers in reverse order, simultaneous listening of two different texts, etc.); 3) exercises to develop listening skills (listening to and understanding a fragment of radiotelephony interaction, using knowledge of the basic phraseology of RTF, code words, forecasting, etc.

It is necessary to take into account such a feature of their professional communication as complete dependence on third-party factors that affect the quality of radio traffic: a factor of time; insufficient operational information, poor quality of communication intelligibility surprise. The way to overcome their impact on communication is to form the psycho-physiological and communicative readiness of the dispatcher for radio exchange based on exercises that simulate the specific features of real communication. The development of exercises implies the possibility of training on the basis of a training dispatch simulator, which allows visualizing all controlled objects, setting them the necessary characteristics (speed, direction, etc.) and practicing the required communication skills [9; 11]. However, within the framework of a professionally oriented language course, this opportunity is far from being accomplished due to a number of technical and organizational reasons. Teachers often have to simulate working conditions directly at their classes using classical teaching aids (textbook, audio player, etc.). To overcome the teaching and learning difficulties in this case, we can recommend the following types of exercises for: 1) the development of listening skills (phonetic dictation – an audio cut from call signs, reported by pilots of different nationalities; listening to the “pilot-controller” conversations to identify the correct confirmation by the pilot commands issued to him; listening to the “pilot-dispatcher” conversations to compare the incoming audio information with the proposed visual support (map, flight path diagram, telegram, scenario) and identify inconsistencies; 2) the spatial representation of the air situation in a specific area

of responsibility (students are invited to listen to the pilot's report and the "pilot-dispatcher" to record navigation information of aircraft, speed, altitude, courses, manoeuvres, time; construct the trajectory of the aircraft in a longitudinal or vertical profile; analyze the potential for controlling the aircraft based on the proposed scheme of the responsibility area, issued meteorological conditions); 3) memory (oral counting in the mind, snowball game; listening to multi-component reports of pilots, "pilot-dispatcher" negotiations aiming at confirming the received information or retelling without written recording); 4) communication skills (drawing a situation; listening to an excerpt from the "pilot-controller" conversations without the initial and final replicas of the pilot and the controller to restore the situation; playing the situation by roles).

Language difficulties the Ukrainian students encounter while learning the Aviation English. Language errors, in both understanding and speaking, are failures to comply with a norm of the language system or subsystem being used. Errors may be isolated to one language item or negatively affect the meaning of a whole message. However, inevitable language errors should always be considered and judged in the wider context of miscommunication or failure to communicate successfully [7; 14; 15; 16; 17; 18]. Knowing and understanding the language difficulties will apparently enable students to prevent from making mistakes, and can be avoided in their professional activity. Thus, regardless of the radio exchange language registry being studied, prospective pilots and air traffic controllers encounter two types of errors – language and subject.

Language errors while using radio exchange phraseology [19; 20; 21; 22; 23] occur in incorrect reading of numbers: flight level one hundred (instead of one-zero-zero), heading one-eighty (instead of one-eight-zero).

1. Lexical errors are as follows: mixing of words and expressions close in meaning but different in use: cleared/approved, confirm/affirm/acknowledge, maintain/continue, and replacing radio phraseology units with spoken language: pick up heading 130, wait for start-up, report in what weather conditions you are flying now (Report flight conditions), etc.

2. Grammatical errors include violation of word order and omission of significant parts of the grammatical structure: Air France 1053, foreign object on the runway – stop immediately (instead of Stop immediately, Air France 1053, stop immediately, foreign object on the runway), and extension of the stable phraseology units by means

of a commonly used language: Expect departure at 05 minutes (instead of Expect departure at 05).

Linguistic errors while using spoken language [25; 26; 27; 28] include lexical errors: mixing of words, terms and expressions similar in meaning but different in the situation of using them: height/flight level/altitude, over/above.

1. The use of "pseudo-international" words (so-called "false friends of the translator"): shasee (instead of gear), trap (instead of steps/stairs), telescopic trap (instead of jetway), cabin (instead of cockpit).

2. Errors in preposition: on what flight level did you experience moderate turbulence? (instead of what flight level...); Are you able to reach FL340 via BUKET? (instead of by BUKET); Expect departure in 55 (instead of at 55).

3. Mixing parts of speech and/or replacing with cognate words: Roger, you're too height for the approach (instead of high); What assistant do you need? (instead of assistance); Report fly conditions (instead of flight).

4. Grammatical errors consist of errors in verb forms: I hadn't your flight plan; are you expect? Have you come back?

– word order errors: This information gave our neighbor sector (Our neighbor sector gave this information);

– errors in selecting a subject: *There* is your marshaller left of you (Your marshaller is left of you);

– errors in noun number selection: Roger, passengers with heart attack (instead of passenger).

5. Audio errors include errors in numbers and letters: Alfa/Tango/Echo, Echo/X-ray, Bravo/Papa, 650/6500, and errors in the perception of phrases based on misunderstanding a word or phrase, presented in the Table 1:

Subject errors begin with the formation of spontaneous false beliefs while acquiring subject knowledge of the specialty [28; 29; 30; 31]. If they are not corrected, they appear systematically in unrealistic commands: (P) Request immediate return to the field. – (C) Roger, you need to return, make three-sixty turn. (C) *Maintain* FL 160, *descend* at your discretion to FL 120. (P) Request immediate return to Helsinki – (C) Roger, make right *turn* 190 degrees.

According to statistics, almost 80 percent of aviation accidents and incidents are somehow connected with the imperfect communication and speech interaction of aviation operators. One of the leading areas of professional activity of aviation specialists is a professional communication, which is considered a component of their professional

Table 1 – Examples of errors in the perception of phrases based on misunderstanding a word or phrase

What was said by the pilot	What was heard
We'll have to descend slowly	We'll have to descend to ULLI
We have no emergency	We have an emergency
We'll expect a tug	We'll expect attack
There's some music on the frequency	There's some military on the frequency
Please, inspect our stand	Police expect us to stand
We have sparks on the right-hand side of the aircraft	We have a pax on the right-hand side of the aircraft
We have a quite rude man on board	We have a flight route plan on board
We'll continue holding with other circuits	We'll continue holding without circuits
The passenger's become better	The passengers come back
We do need a tug	We don't need a tug

reliability. Thus, the knowledge of professional English has been defined as one of the crucial factors for a modern aviation specialist, which affects aviation safety. The conducted research proved that the effectiveness of teaching English to aviation students depends on the following points: pedagogical conditions, modelling the situations applicable to aviation specialists' professional environment, the use of authentic materials at classes, and clear material selection which encourage the formation of aviation specialist professional communicative competence. However, we understand that they do not cover the problem fully and, more likely, there are other dimensions which need to be studied and, possibly, be the prospects for the further research of this issue.

REFERENCES

- Grynyuk, S., et al. (2022). Distance Learning During the COVID-19 Pandemic: The Experience of Ukraine's Higher Education System. *The Electronic Journal of e-Learning*, 20 (3), pp. 242–256, available online: at www.ejel.org
- Grynyuk, S., Zheludenko, M., Zaytseva, I. (2021). The readiness of Ukraine's digital infrastructure to mass distance learning. *Visnyk Kremenchyzkogo natsionalnogo universytetu*. № 4/2021 (129). Kremenchyk, pp. 35–40.
- Petrashchuk, O., Vasiukovych, O. (2014). Aviation in the XXIst century *Proc. of the VIth World Congress*, p. 3.3.1, September 23–25, Kyiv.
- De-Matteis, Lorena M. (2017). A Linguistic safety and syntactic patterns in Spanish pilot/controller radiotelephony. *Aviation in Focus*. Lugar : Porto Alegre. P. 19.
- Kyrychenko, A. (2013). Movni Osoblyvosti Anhliskoho Aviatsiinoho Radiotelefonnoho Dyskursu. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii inozemni movy* № 21, pp. 63–68.
- Moskalenko, O., and Didenko, O. (2018). Computer tool for training pilots' listening skills in aviation English. *Information technologies and learning tools*. № 67 (5), pp. 187–98.
- Grynyuk, S. (2019). Aviation in the XXIst century. *Proc. of the VIth World Congress*. Kyiv. Pp. 9.100–106, September 23–25.
- ICAO DOC 9835. (2010). *Manual on the Implementation of ICAO Language Proficiency Requirements* 2nd ed. Montreal.
- Vasiukovych, O. (2017). Analiz Osoblyvostei Radioobminu v Nestandartnykh Sytuatsiakh. *Naukovi zapysky Serii: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity*. № 11 (55), pp. 118–25.
- Lavruhina, T. (2012). Formuvannia kluchovykh kompetentnostei maibutnykh aviatsiinykh dyspetcheriv yak umova hotovnosti do profesiinoi diialnosti. *Aktualni problemy sotsiologii, psikhologii, pedahohiki*. Pp. 168–74.
- Leshchenko, H. (2016). Teoretychni i metodychni zasady formuvannia profesiinoi nadiinosti fakhivtsiv z avariinoho obsluhovuvannia ta bezpeky na aviatsiinomu transporti. (DSc thesis). Zaporizhzhia.
- Hrykov, E. (2011). Put obrazovaniia Pedahohicheskie usloviiia kak sostavliaiushchaia nauchnykh znani. № 2, pp. 11–15.
- Ignatovich, E. (2011). K voprosu o professionalnoy i inoyazychnoy kommunikativnoy kompetentnosti v aviatsii. *Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin* 3, pp. 82–87.
- Qiong, Wu and Brett, R. (2019). An Investigation into the Factors that Affect Miscommunication between Pilots and Air Traffic Controllers in Commercial. *Aviation The International Journal of Aerospace Psychology*. № 29 (1–2). Pp. 53–63.
- Kathleen, L. et al. (2013). Pilot – ATC Communication Conflicts: Implications for NextGen. *The International Journal of Aviation Psychology*. № 23 (3), pp. 213–26.
- Nitayaphorn, P., Pertanika, J. Soc. Sci. & Hum. (2014). 22 Message from the Sky: Radiotelephony in Air-Ground Communication. *Thai Airways International Public Company Limited*. Thailand, pp. 59–74.
- MacMillan, D. (2004). Mistakes in Air Traffic Control. *ICAO Journal*. 1, pp. 23–27.
- Kim, H., Billington, R. (2018). Pronunciation and comprehension in English as a lingua franca communication: Effect of L1 influence in international aviation communication. *Applied linguistics*, № 39 (2), pp. 135–158.

19. Hyejeong, Kim (2018). What constitutes professional communication in aviation: Is language proficiency enough for testing purposes? *Language Testing*, vol. 35, issue 3, pp. 403–426 (Scopus).
20. Demirdöken, G. (2021). The Constructivist Approach towards Identifying the Challenges of ESP Teachers: The Case of Aviation English. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, № 8 (2).
21. Ishihara, N. (2021). Face and (im)politeness in aviation English: The pragmatics of radiotelephony communications. *Journal of Pragmatics*, vol. 180, pp. 102–113.
22. Kay, M. et al. (2021). Factors affecting real-world pilot and ATC communication: pilot and ATCO interview panel. Webinar Presented in the International Civil Aviation English Association (ICAEA) Webinar Series 6.
23. Tavares Monteiro, A. L. (2019). Reconsidering the Measurement of Proficiency in Pilot and Air Traffic Controller Radiotelephony Communication: from Construct Definition to Task Design. Doctoral dissertation, Carleton University.
24. Hamzah, H., Fook, Fei W. (2018). Miscommunication in Pilot-controller Interaction. *The Southeast Asian Journal of English Language Studies*, № 24 (4), pp. 199–213.
25. Nemlii, L. (2020). Aviation English Training for Aviation Personnel in Ukraine. *Science and Education a New Dimension*, № 235, pp. 32–36.
26. Bystrova, B. et al. (2019). Problem-based ESP methods for teaching future air traffic controllers to conduct radio exchange in non-routine situations. *Advanced Education*, № 12, pp. 74–79.
27. Prado, M. (2021). The pragmatics of aeronautical English: an investigation through corpus linguistics: An investigation through corpus linguistics. *Revista de Estudos da Linguagem*, № 29 (2), pp. 1381–1414.
28. Taguchi, N. and Ishihara, N. (2018). The pragmatics of English as a lingua franca: research and pedagogy in the era of globalization. *Annu. Rev. Appl. Ling.*, № 38, pp. 80–101.
29. Zolfagharian, A. (2017). Needs analysis of aviation English for air traffic controllers. *International Journal of Language Learning and Applied Linguistics World*, № 16 (1), 54–68.
30. Santos, M. et al. (2018). Analysis of the methodology applied in aviation English course at a military school in Salinas. *Journal of Education and Human Development*, № 7 (3), 39–44.
31. Borowska, P. A. (2018). A multilingual speaker in global aviation communication. *Journal of Research into Multilingualism*, № 1 (1), 19–28.
32. Zolfagharian, A. (2017). Needs analysis of aviation English for air traffic controllers. *International Journal of Language Learning and Applied Linguistics World*, № 16 (1), pp. 54–68.

МОВНА ОЦІНКА ЗАГРОЗ ТА РИЗИКІВ БЕЗПЕКИ АВІАЦІЇ

Світлана Гринюк

кандидат педагогічних наук,

доцент кафедри іноземних мов математичних факультетів

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 60, Київ, Україна, 01033, grynyuk.svetlana@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-8019-759X

Ірина Зайцева

кандидат педагогічних наук,

доцент кафедри іноземної філології та перекладу

Київський національний торговельно-економічний університет, вул. Кіото, 19, Київ, Україна, 02156, irenenazaruk8@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-6556-0779

Стаття присвячена мовній оцінці загроз та ризиків безпеки авіації. Акцентовано увагу на характеристиках та особливостях радіообмінної взаємодії. Розглянуто суть «комунікаційного збою». Наголошено на різних факторах, які спричиняють збій зв'язку. Обґрунтовано важливість дослідження професійної компетентності майбутніх авіаційних експлуатантів (пілотів та диспетчерів). Описано типологію вправ для підвищення ефективності навчального процесу майбутніх авіаційних операторів. Він також узагальнює висновки щодо мовних труднощів студентів під час навчання авіаційної англійської мови (мовні помилки під час використання фразеології радіообміну; мовні помилки під час використання розмовної мови; звукові помилки; тематичні помилки). У статті також розглядається запровадження Міжнародних вимог володіння авіаційною мовою. Він висвітлює стандарти ІКАО та рекомендовану практику щодо вимог володіння мовою.

Ключові слова: авіаційна англійська мова, авіаційна безпека, мовна оцінка, мовні труднощі, радіообмін.

Стаття надійшла 16.03.2022

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE APTITUDES OF STUDENTS OF GEOENGINEERING EDUCATION

Igor Yeremeyev

DSc.,

Professor at the Department of Automated Process Control

Taurida National V. I. Vernadsky University, 33 Ivana Kudri str., Kyiv, 04000, Ukraine;

ORCID: 0000-0003-1968-0395

Alina Dychko

DSc.,

Professor at the Department of Geoengineering

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, 03056, Ukraine, aodi@ukr.net;

ORCID: 0000-0003-4632-3203

The paper is devoted to the problem of students' knowledge assessment, because very fact of a grade of a student in a particular subject does not reflect his or her competences. The purpose of the research is the analysis of deviations, i. e. identification of data that differ in any parameters in the total mass. Usually, students become more critical during their education (from their point of view, subjectively or objectively) of the subjects they studied: something they do not need, and something – is extremely important. Accordingly, this is reflected in the estimates. It is proposed to use the ideas of spectral analysis, the method of nearest neighbors, plausible reasoning, fuzzy set methods and identification methods. The idea of spectral analysis is that all student assessments are located at fixed positions: each assessment of indicators in a predetermined place in groups of selected subjects. This rating can be the result of assessment of knowledge during the module control, assessment of the course project, test results, etc. When using distance learning methods and tools in the dialogue mode, the assessment is set by a program that monitors the assimilation of current material. Identification of a specific spectrogram can be carried out using the method of the nearest neighbor and the Euclidean metric as a measure of proximity. The presented appropriate algorithms of the student's self-preparation process includes the main aspects of education process. The proposed heuristics for decision making on the knowledge defines the presence of certain trend, comparing the situation where the estimate does not exceed the standard deviation and the result of the observation of the change in the estimate in the current and during the previous assessments. The developed approach helps to assess students' knowledge more objectively and to identify trends in the development of material, gaps in knowledge and the aptitudes of students.

Key words: students' knowledge, students' aptitudes, data mining, spectral analysis.

1. INTRODUCTION. DATA MINING IN STUDENTS' KNOWLEDGE ASSESSMENT

An existing methods of teaching and assessing students' knowledge and abilities have now become obsolete. The very fact of a high or low grade of a student in a particular subject says little. A systematic approach is needed to assess students' abilities and inclinations. This approach should be based on the intellectual analysis of data [1] on academic performance and other activities (participation in conferences, social activities) for the entire previous period of study in absolutely all disciplines relevant to the chosen specialty, both compulsory and optional. The purpose of such an analysis is to detect deviations, i. e. identification of data that differ in any parameters in the total mass. Usually, as students get older and gain new knowledge, they become more critical (from their point of view,

subjectively or objectively) of the subjects they read: something they do not need, and something – is extremely important. Accordingly, this is reflected in the estimates. On the other hand, teachers emphasize students' importance of the subjects they read (usually giving examples of how a “trifle”, that is not perceiving, and ignoring seemingly insignificant facts, can lead to a catastrophe or failure to achieve a goal) and thus, try to arouse interest in a particular section or subject in general. Here it is important to know – the observed ignorance is characteristic of all or only some listeners, what are the trends in different groups of students, etc. In addition, it is desirable to find relationships between individual indicators of general trends. Finally, it is very important to summarize the built model (template) for application to new data in order to predict the genesis of each of the listeners. All this, in fact, can be described by

the term of data mining. To implement the proposed approach, it is proposed to use the ideas of spectral analysis, the method of nearest neighbors, plausible reasoning, fuzzy set methods and identification methods. The idea of spectral analysis is that all student assessments (expressed in points, or rather, in the scale [0,00...1,00]) are located along the abscissa axis at fixed positions: each assessment of indicators in a predetermined place in groups of selected subjects. This rating can be the result of assessment of knowledge during the module control, assessment of the course project, test results, etc. In addition, when using distance learning methods and tools in the dialogue mode, the assessment is set by a program that monitors the assimilation of current material. After viewing the unit, the student takes a test and by its results he turns to the unit that is poorly mastered (and the number of iterations are taken into account as an indicator of the weakness of the assimilation of the material), or turns to the next subsection, which

must be studied. The algorithm of this procedure is shown in Fig. 1–2.

It is possible to adjust the assessment as follows. If the grade exceeds, for example, 80 points (or 0.8), and the grades in related disciplines exceed 0.85, the following correction factor n can be offered:

$$n = (L - 1) / (2N + L) \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

where L – number of grades in related disciplines exceeding 0.85, N – the total number of grades, x_i – grade of the i -th subject. In this case, the adjusted estimate is lower if $L = 0$, is not changed at $L = 1$ and increases with increasing L . The value of the estimate $x(i_{cor})$ is defined as $x(i_{cor}) = n_{xi}$. The graphic interpretation of that is shown in Fig. 3.

Each student, as shown in Figure 3, corresponds to his spectral characteristics, and it is possible to formulate certain patterns

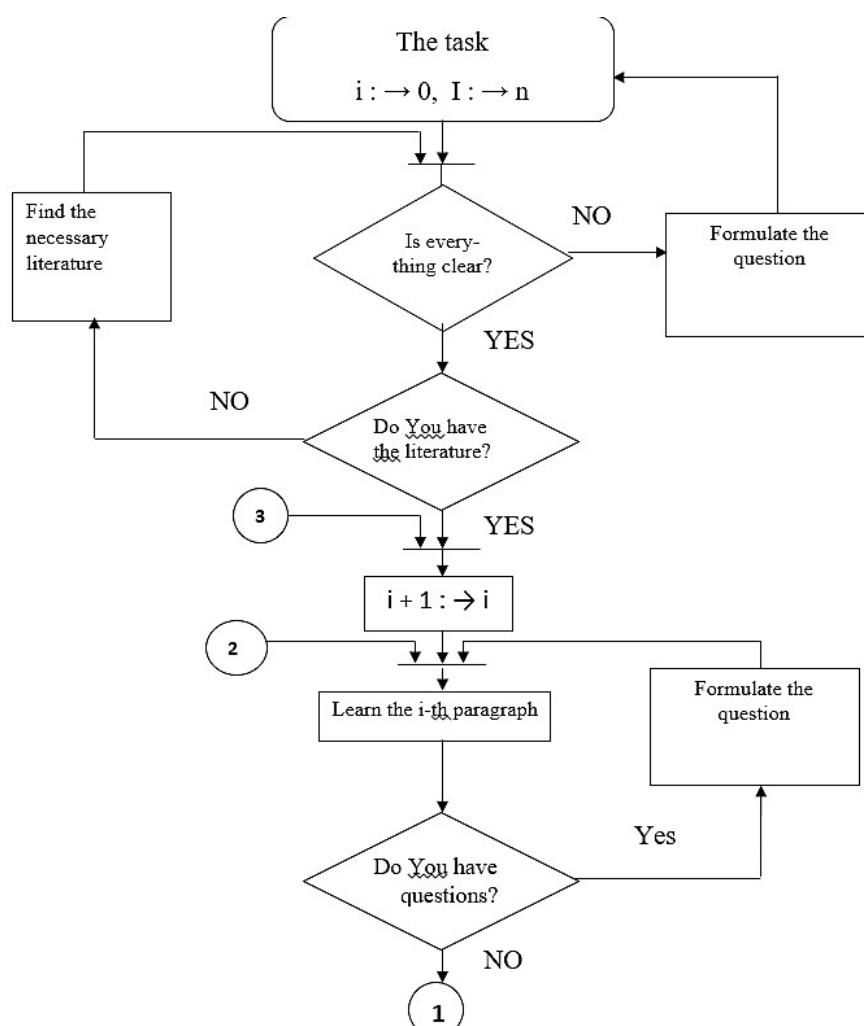


Figure 1 – A. Block diagram of the student's self-preparation process

that correspond to the assessment standards (classes) of the Bologna process.

2. IDENTIFICATION OF THE STUDENTS' ABILITIES SPECTRUM

Comparison of characteristics with the standard (template) with simultaneous indication of acceptable tolerance in the scatter of characteristics 2 relative to the standard will allow to unambiguously identify them as belonging to a class, and the presence of "strange" spectrum data will show obvious flaws in student knowledge and the need course.

Graphical interpretation of the identification procedure based on the evaluation of the Euclidean metric, which characterizes the discrepancy between the compared spectrogram and the standard [2; 3] is presented at Fig. 4–5. Here 1, 2, 3, ... – disciplines S , relevant to the profiling course, O_c – the score in points (0.0–1.0), and the red line is the standard.

Identification of a specific spectrogram can be carried out using the method of the nearest neighbor [4], the essence of which is as demonstrated

at Figure 6. Here, the Euclidean metric is used as a measure of proximity.

The test specimen (green circle) must be classified as a blue square (class 1) or as a red triangle (class 2). If $k = 3$ (solid circle), then it is classified as 2nd class, because inside the circle there are 2 triangles and only 1 square. If $k = 5$ (dotted circle), it is classified as the 1st class (3 squares against 2 triangles inside a larger circle).

The simplest algorithm of the method is as follows:
1. All points (A_i) of the data set are projected on one axis. 2. The test point (A_t) is also projected on this axis. 3. Find the two nearest points (to the right (A_p) and to the left (A_l) from the point (A_t)). 4. Measure the distances between the two templates found in p. 3 and the test point (A_t) and identify which of the distances is shorter (R_d). In some cases, if it is needed to identify causal links and predict the dynamics of consolidation of student knowledge in repeated testing (which objectively contributes to better learning), a modification of the method

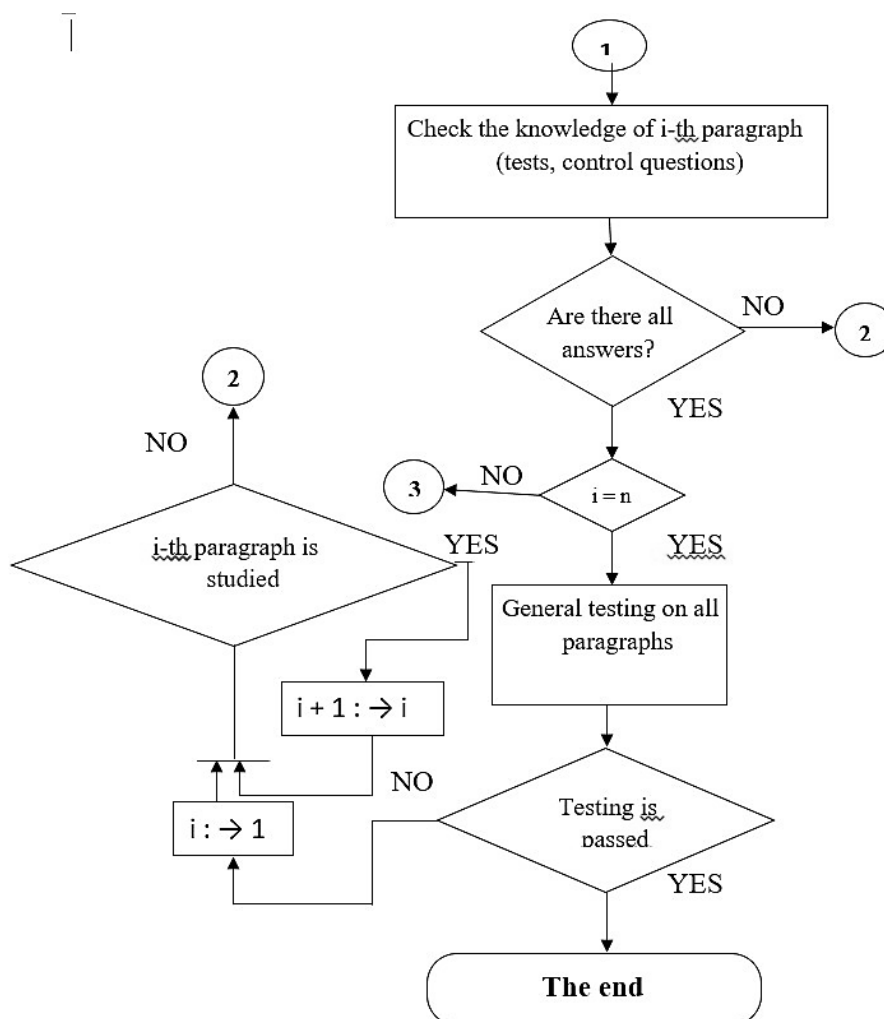


Figure 2 – B. Block diagram of the student's self-preparation process

of nearest neighbors may be used, which is based on plausible reasoning in assessing within 2 [4].

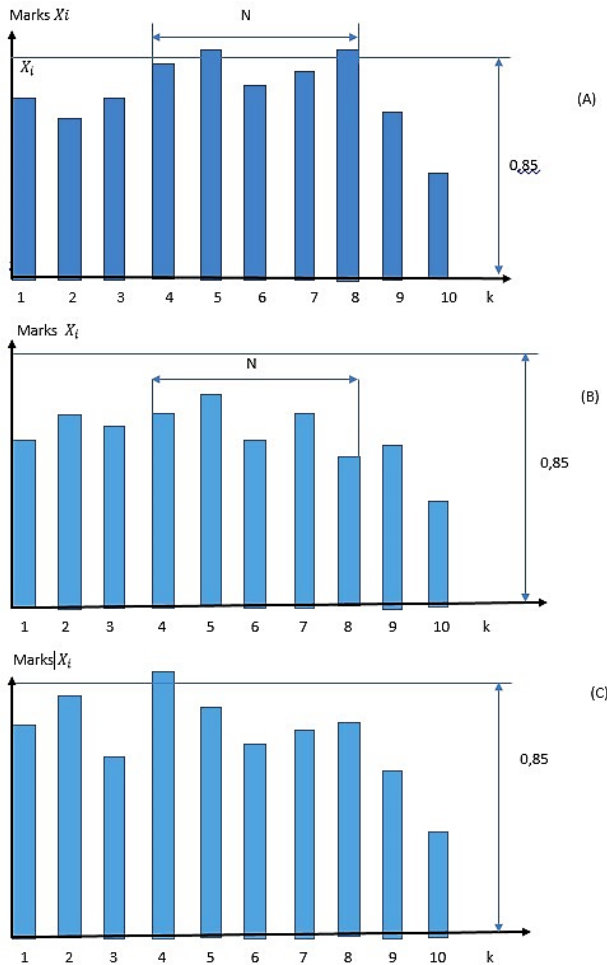


Figure 3 – Spectrograms for cases $N = 5$ and $L = 2$ (A), $L = 0$ (B) and $L = 1$ (C)

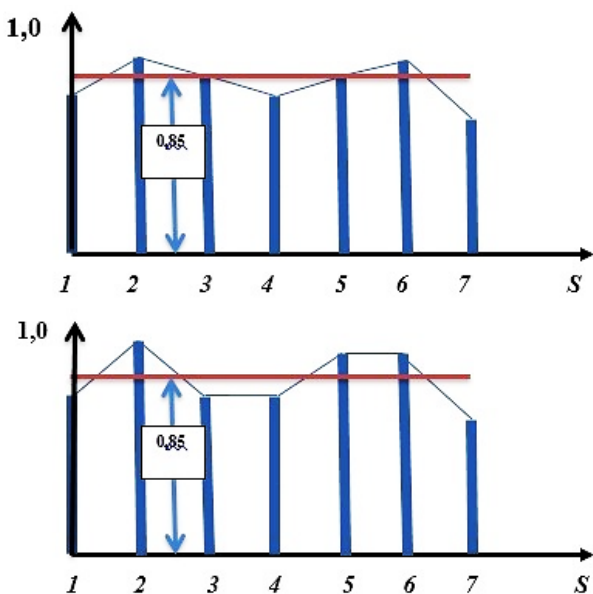


Figure 4 – A. Graphical interpretation of the spectrum identification procedure

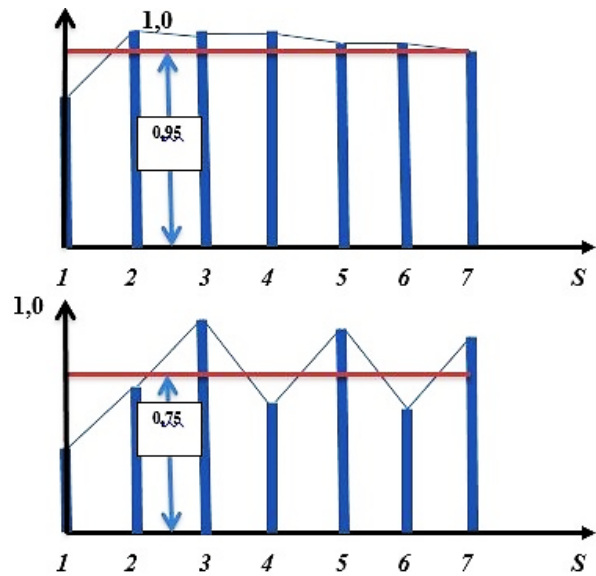


Figure 5 – B. Graphical interpretation of the spectrum identification procedure

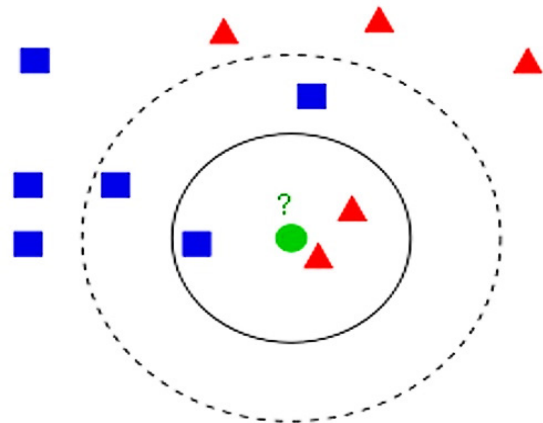


Figure 6 – Example of classification of k-nearest neighbors

The essence of the approach is that the spectrum data are compared at points of interest with the spectrum data at the nearest neighboring points. If there is a consistent dynamics of the amplitudes of the spectral lines at all adjacent points within the standard deviation of 2, it can be considered very plausible to have a certain trend that is credible. The following heuristics can be used to estimate the above trend:

$$\text{IF } ([\text{STAB}] \text{ AND } [\text{SIGNST}_i \pm j\text{EQ}]), \quad \text{THEN } [\text{HOT}], \quad (2)$$

where STAB – situation where the estimate does not exceed the standard deviation, $\text{SIGNST}_i \pm j\text{EQ}$ – the result of the observation that the sign of the change in the estimate in the current assessment at all points to the left and right of i , i. e. at points i and ij and from i to $i + j$, is the same with respect to

the state at the same points during the previous assessment, HOT – there is a certain trend. Graphical interpretation of this approach is shown in Fig. 7.

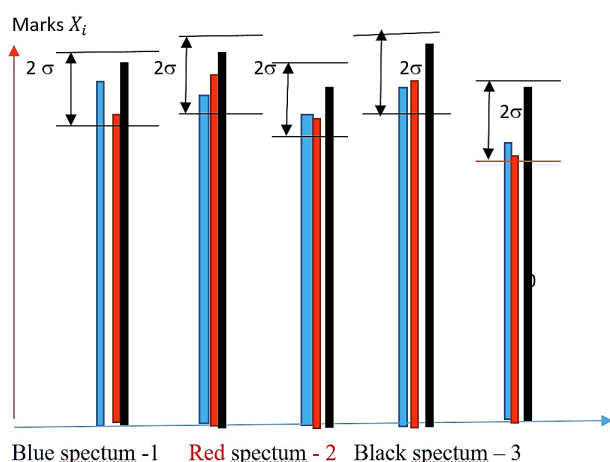


Figure 7 – Comparison of spectra within 2 according to heuristics (2)

CONCLUSIONS. The approach discussed above, thus, helps not only to assess students' knowledge more objectively, but also to identify trends in

the development of material, gaps in knowledge and even the aptitudes of students to geoengineering education and sciences. This students' rating can be the result of assessment of knowledge during the module control, assessment of the course project, test results, etc. Identification of a specific spectrogram can be carried out using the method of the nearest neighbor.

REFERENCES

1. Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases, *AI Magazine*, (17), 1996. P. 37–54.
2. Dychko, A., Yermeyev, I. Organization of environmental monitoring using fractal theory methods. *Complex Systems Development Management* (19), 2014.
3. Yermeyev, I., Dychko, A., & Gulich, S. (2021). Intellectualization of Educational Resources and Analysis of Students' Training. In *2020 3rd International Seminar on Education Research and Social Science (ISERSS 2020)*. P. 21–26.
4. Beyer, B., Goldstein, J., Ramakrishnan, R., Shaft, U. When Is "Nearest Neighbor" Meaningful? *Database Theory. – ICDB '99*, 1999. P. 217–235.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЗДІБНОСТІ СТУДЕНТІВ ГЕОІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ

Ігор Єремєєв

доктор технічних наук,

професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського, вул. Івана Кудрі, 33, Київ, 04000, Україна;

ORCID: 0000-0003-1968-0395

Аліна Дичко

доктор технічних наук,

професор кафедри геоінженерії

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна, aodi@ukr.net;

ORCID: 0000-0003-4632-3203

Стаття присвячена проблемі оцінки знань студентів, оскільки сам факт оцінки учня з того чи іншого предмета не відображає його компетенції. Метою дослідження є аналіз відхилень, тобто виявлення даних, що відрізняються за будь-якими параметрами в загальній масі. Зазвичай студенти під час навчання (з їхньої точки зору, суб'єктивно чи об'єктивно) стають більш критичними до предметів, які вивчають: щось їм не потрібно, а щось – надзвичайно важливо. Відповідно, це відображено в оцінках. Запропоновано використовувати ідеї спектрального аналізу, методу найближчих сусідів, правдоподібних міркувань, методів нечітких множин та методів ідентифікації. Ідея спектрального аналізу полягає в тому, що всі оцінки студентів розміщуються на фіксованих позиціях: кожна оцінка показників у заздалегідь визначеному місці в групах вибраних предметів. Цей рейтинг може бути результатом оцінювання знань під час модульного контролю, оцінювання курсового проекту, результатів тестування тощо. Ідентифікацію конкретної спектрограми можна провести за допомогою методу найближчого сусіда. Розроблений підхід допомагає більш об'єктивно оцінити знання учнів та виявити тенденції освоєння матеріалу, прогалини в знаннях та здібностях учнів.

Ключові слова: знання студентів, здібності студентів, аналіз даних, спектральний аналіз.

BIBLIGRAPHY

1. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases, *AI Magazine*, Volume 17, Number 3, pp. 37–54.
2. Dychko A., Yermeev I. (2014). Organization of environmental monitoring using fractal theory methods. *Complex Systems Development Management*, (19).
3. Yermeyev, I., Dychko, A., & Gulich, S. (2021). Intellectualization of Educational Resources and Analysis of Students' Training. In *2020 3rd International Seminar on Education Research and Social Science (ISERSS 2020)*, pp. 21–26.
4. Beyer B., Goldstein J., Ramakrishnan R., Shaft U. (1999). When Is “Nearest Neighbor” Meaningful? *Database Theory. – ICDB'99*, pp. 217–235.

Стаття надійшла 14.03.2022

ЗАЛУЧЕННЯ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИКЛАДАННІ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ АГРОТЕХНІЧНОГО СПРЯМУВАННЯ

Сергій Єрмаков

завідувач навчально-наукової лабораторії

“DAK GPS”, вул. Шевченка, 13, Кам’янець-Подільський, Хмельницька область, Україна, 32316, ermakov@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-6840-5309

Владлен Девін

кандидат технічних наук,

доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін

Подільський державний університет, вул. Шевченка, 13, Кам’янець-Подільський, Хмельницька область, Україна, 32316, dvvkr.123@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-2994-3144

Василь Ткачук

кандидат технічних наук,

доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін

Подільський державний університет, вул. Шевченка, 13, Кам’янець-Подільський, Хмельницька область, Україна, 32316, twskmg@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-5414-2387

Дарія Вільчинська

кандидат сільськогосподарських наук,

асистент кафедри енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

Подільський державний університет, вул. Шевченка, 13, Кам’янець-Подільський, Хмельницька область, Україна, 32316, daria.vilchinska@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-3322-6722

Подано результати педагогічного дослідження з вивчення впливу включень пізнавальної інформації під час викладання «Технічної механіки» в Коледжі аграрно-технічного спрямування. Метою роботи стало визначення впливу кількості залученої в пояснення пізнавальної інформації на ефективність проведення теоретичних занять та на якість засвоєння знань студентами. Дослідження проводилось в умовах навчального процесу з вивчення дисципліни «Технічна механіка» в паралельних групах. Початковий відлік якісних змін визначався за контролем залишкових знань студентів з вивчення попередніх тем курсу та частково з суміжних дисциплін, предмету. Дослідження проводилось шляхом проведення занять у двох групах за різною методикою: з широким залученням пізнавальної інформації і класичний виклад за підручником.

Результатом проведеного дослідження стали виявлені закономірності у підвищенні якості знань студентів. Встановлено, що залучення пізнавальних відступів на заняттях з технічної механіки дозволило покращити загальну активність сприймання і засвоєння навчального матеріалу. Це виражається в покращенні як якісних так і кількісних результатів при проведенні підсумкової перевірки у експериментальній групі в порівнянні до контрольної.

Ключові слова: пізнавальна інформація, активізація пізнавальної діяльності, технічна механіка, залишкові знання, підсумковий контроль.

У сучасному освітньому середовищі, яке вже накопичило величезну кількість знань, досить сильно ускладнилось важливе завдання навчання і виховання – передати досвід людства нащадкам. Кожна галузь знань продовжує розвиватись, а інформаційне поле розширюється поповнюю-

чись новими знаннями. Заклади освіти в таких умовах повинні чітко вибирати концепцію навчання, при якій майбутній фахівець оволодів сучасними, актуальними знаннями на достатньому рівні. Традиційні освітні програми, які суворо регламентують перелік питань, що під-

лягають опрацюванню протягом відведеного числа годин, не завжди враховують особливості засвоєння того чи іншого матеріалу і можливості сприйняття студентів. Інформація не рідко буває досить насичена, що викликає ефект формалізації викладу через потребу вмістити величезні обсяги інформації у обмежені рамки навчальних занять. Години відведені на самостійне вивчення матеріалу теж не завжди можна розглядати як вихід, адже, щоб студент дійсно запрацював сам, повинно існувати поле само мотивації, яке можна сформувати зацікавивши його під час очних зустрічей на заняттях. Це можна зробити або яскравими прикладами з практики, або глибокою інформацією, при умові, що студент сприйме її важливою і вважатиме корисною, або іншими засобами і прийомами. З наведених факторів на нашу думку найкраще піддається вдосконаленню саме останній спосіб – залучення в виклад яскравої пізнавальної інформації.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ З ПРОБЛЕМИ. Питання необхідності якісного поліпшення викладання у сучасній вищій школі піднімалося у величезній кількості дисертаційних робіт. Більшість авторів пропонують свої шляхи вирішення даної проблеми. Проте можна виділити деяку групу науковців, для яких

підвищення пізнавальної активності через управління їх діяльністю на заняттях, в тому числі залучення цікавих відступів. Це зокрема Г. Балл, А. Гріденко, Л. Грінченко, О. Ляшенко, Н. Ржецький, А. Сохор, О. Філатов, Я. Юрченко та ін. [1–12]. Значний досвід роботи в цьому напрямку накопичено також авторами цієї праці [13–16].

Як відомо усі навчальні дисципліни студенти умовно поділяють на нудні і цікаві. Великою мірою це залежить від вмінь і педагогічної майстерності викладача. Знайти вихід з ситуації, коли слухачі перестають сприймати навчальний матеріал не просто, особливо якщо мова йде про подання таких дисциплін, які наповнені складними математичними розрахунками, правилами, визначеннями та умовиводами. Такими властивостями володіють майже усі дисципліни фізико-математичного та загальнотехнічного напрямку.

Робота студентів на заняттях з технічної механіки у закладах вищої освіти I–II р. а. вимагає досить вагомої напруженості волі і уваги. При вивченні її у першому семестрі другого курсу згідно робочої програми студенти повинні опрацювати всю теоретичну механіку (див рис. 1.), знання з якої накопичувались ще з найдавніших часів (термін «механіка» запровадив видатний стародавній філософ Арістотель

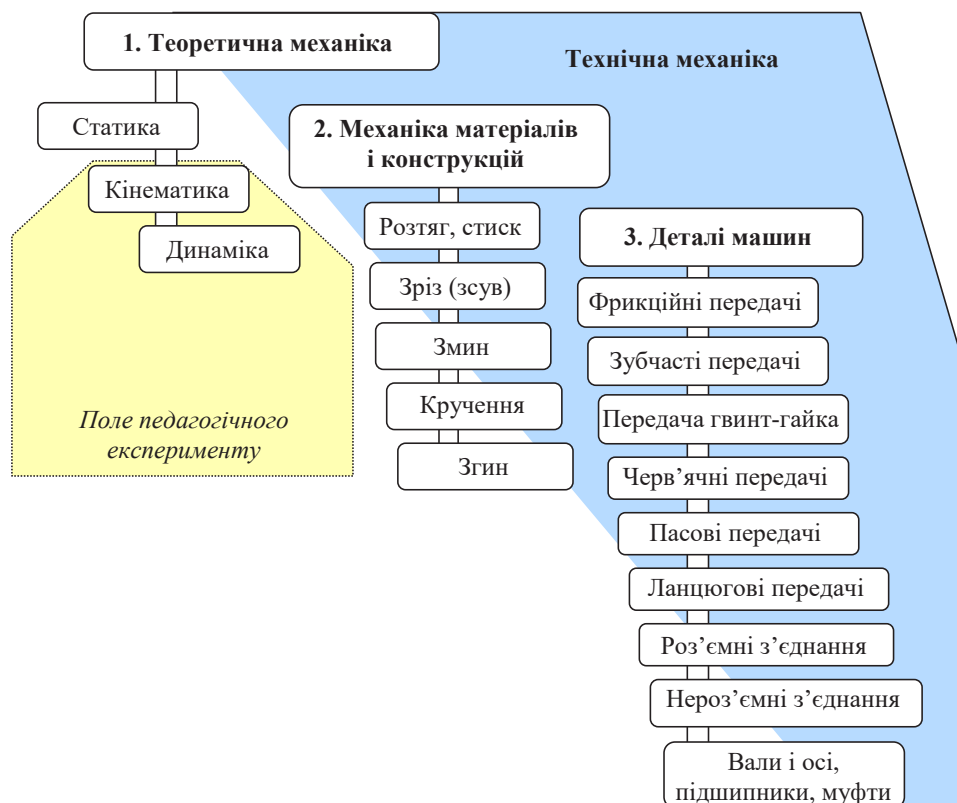


Рисунок 1 – Структура розділів дисципліни «Технічна механіка»

/384–322 до н. е./) і протягом всієї історії невинно збагачувались, навіть у Середньовіччя, коли розвиток наук гальмувався церквою. Так Галілей /1564–1642/, будучи проклятий церквою за свої астрономічні відкриття займався опором матеріалів, який в Середньовіччі не викликав небезпеки релігійної цензури [17]. Також можна згадати такі імена як Архімед, Роберт Гук, Ісак Ньютон, Леонардо да Вінчі – жоден з них не залишив технічну механіку без величезного наукового доробку. Звісно дисципліна, яка вивчається протягом курсу обсягом 216 годин, з яких трохи більше 100 аудиторних, якщо й навіть бігло торкнеться усіх своїх резервів, перетвориться у проговорювання викладачем необхідного матеріалу – часу на бесіду, дискусію, а тим більше рольову гру не буде. Однак є великі сумніви щодо ефективності таких занять – пізнавальна активність не буде достатньо стимулюватись навіть у найдопитливіших.

Нами висунуто гіпотезу, згідно з якою ефективність занять з технічної механіки можна значно підвищити, якщо залучати у виклад різноманітну інформацію пізнавального змісту. Було розроблено програму експерименту з метою перевірки даного припущення. Для цього було написано «Конспект цікавих лекцій» по усім розділам теоретичної механіки: статичі, кінематиці і динаміці [18; 19].

Основною метою роботи є аналіз ефективності проведення занять подання теоретичного матеріалу з залученням цікавої інформації. Для реалізації поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- виділити подібні за знаннями групи для проведення експерименту;
- провести контроль залишкових знань з курсу фізики;
- після викладу матеріалу у двох групах за різними методиками провести підсумковий контроль;
- проаналізувати результати і зробити висновки.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Дана розробка покликана локалізувати проблему підвищення ефективності засвоєння навчального матеріалу на цікавому викладі матеріалу з дисципліни технічна механіка на рівні закладів освіти I–II рівнів акредитації, чого не зустрінеш в працях інших науковців.

Експеримент проводився на базі Коледжу ПДАТУ, де протягом кількох років відбирались по дві групи другого курсу механічного відді-

лення: М-211, М-221. Кількість студентів була подібна, однак, нажаль, абсолютної рівності у рівні знань не спостерігалось. З метою одержання більш наочних результатів в якості експериментальної було обрано групу початкові знання якої були нижчими (М-221). Досліджувався характер засвоєння навчального матеріалу за різними методиками з розділів «Кінематика» (8 год теоретичних занять) і «Динаміка» (6 год).

Дослідження проводилось у умовах навчального процесу з вивчення дисципліни «Технічна механіка» в паралельних групах. Перед дослідженням в контрольній (М-211) і експериментальній (М-221) групах було проведено вимірювання рівня залишкових знань з попередніх тем курсу та частково з суміжних дисциплін. Для експериментальної групи було розроблено методичні матеріали з включенням пізнавальної інформації, що в тій чи іншій мірі стосується тем, які вивчались. Тоді як в контрольній групі викладання відбувалось у суворій відповідності до традиційних навчально-методичних матеріалів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Перед початком експерименту студентам було запропоновано відповісти на ряд питань, які студенти вивчали при вивченні курсу фізики з розділу «Механіка». Результати оцінки залишкових знань підтвердили якісно вищий рівень підготовленості у контрольній групі порівняно з експериментальною – середній бал відповідно 3,25 і 2,09. У групі М-211 матеріал подавався за звичайною методикою. У експериментальній групі М-221 викладання проводилось іншим викладачем за вищезазначеним «Конспектом...», де крім основного матеріалу містились такі відомості:

- при вивченні швидкості – швидкість з теорії відносності А. Ейнштейна;
- при вивченні постійного і рівнозмінного рухів – аналіз руху парашутиста або краплі дощу (чому вона падаючи з великої висоти при $g = 9,81$ не ранив людину);
- при вивченні складного руху – випадок з французьким льотчиком, який зловив бойову кулю руками;
- при вивченні теореми про додавання швидкостей – проаналізовано рух колеса потягу, в якого є точки, що рухаються в протилежному до пункту призначення напрямку;

Це далеко не повний перелік пізнавальних питань, які пропонувалось виносити. Подавалась ця інформація по мірі стомлювання студентів, для привертання уваги і повернення заняття

в природне русло. Під час таких відступів зазвичай виникало пожвавлення аудиторії. Часто студенти просили наводити більше таких прикладів, однак в зв'язку з браком часу, доводилось обмежуватись одним-двома, а за урок до п'яти такими відступами, що займали близько 20 % навчального часу.

Після опрацювання всіх тем студенти написали підсумкову контрольну роботу, де були включені передбачені програмою тестові питання. Результати обробки даних подано на гістограмах рисунків 2, 3 і 4. Так на рисунках 2 і 3 подано результати набраних балів у контрольній і експериментальній групах. Значення подано у відсотках студентів, які набрали відповідно 1, 2, 3, 4 і т. д. балів. Гістограми перевірки залишкових знань (рис. 2) та підсумкового контролю (рис. 3) наочно демонструють наскільки змінились результати при перевірці знань і при підсумковому контролі. Наведені дані свідчать, що на початковому етапі підготовка студентів контрольної групи значно переважала. Середній набраний бал складав 3,25, тоді як в експериментальній лише 2,09. При проходженні тем за різними методиками контрольна перевірка показала наступні результати:

контрольна група з 3,25 середній бал знизився до 3,04;
експериментальна група з 2,09 підвищився до 3,39.

Ці цифри повністю підтверджують правильність вибраної методики.

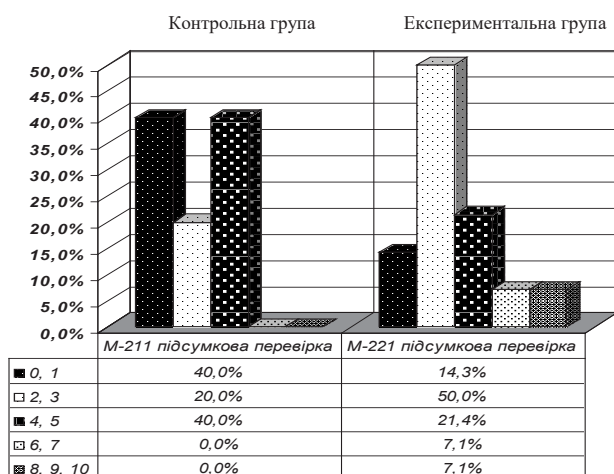


Рисунок 2 – Гістограма результатів перевірки залишкових знань (цифри в легенді показують кількість поданих правильних відповідей, відсотки по шкалі у – відсоток студентів, що одержали відповідний результат)

Результати робіт було проаналізовано і з іншого боку та помічено наступну закономірність, проілюстровану рисунком 4.

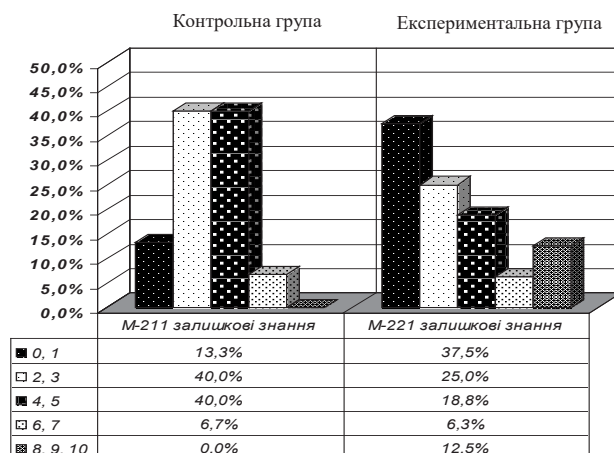


Рисунок 3 – Гістограма результатів підсумкового контролю

Якщо при першому тестуванні студенти неохоче, а можливо з острахом відповідали на запитання, про що свідчить велика кількість зданих робіт з незаповненими повністю полями, то в кінці вони стали набагато сміливіші і охочіше відповідали на запитання. Особливо це помітно по контрольній групі. Якщо при перевірці залишкових знань в експериментальній групі було 26 % студентів, які фактично здали порожній листок (в контрольній – 7 %) і 53 % (33 %), які показали надзвичайно низький рівень активності у межах 2–3 відповідей, то при підсумковому контролі бланків без відповідей не було взагалі (в контрольній залишилось на тому ж рівні), а низькоактивних зменшилось до 14,3 % (12,5 %).

Наведемо ще такі дані:

контрольна група з всередньому 3,9 правильних відповідей підвищилось до 4,9;
експериментальна група з 2,8 підвищився до 5,5.

Усе свідчить про набуття впевненості студентів у своїх знаннях, що також характеризує їх інформаційну підкованість інформацією і вміння її застосувати.

ВИСНОВОК. Таким чином експеримент проведений на базі Коледжу ПДАТУ повністю підтвердив гіпотезу про те, що пізнавальний виклад технічних наук може сприяти кращому засвоєнню навчального матеріалу. Після кількаразової якісної апробації таких занять, можна було б говорити про можливість даної теорії – зокрема, про широке залучення в навчальний процес пізнавальної інформації.

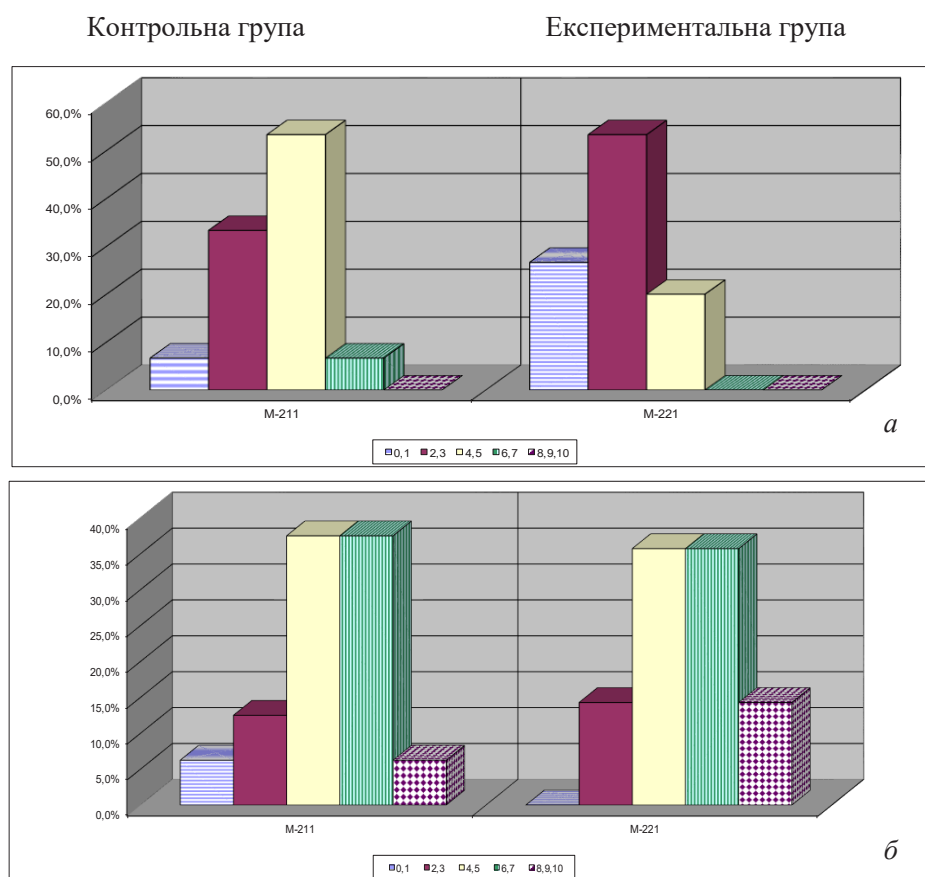


Рисунок 4 – Гістограма кількості поданих відповідей (правильних і неправильних):
а) при перевірці залишкових знань, б) при підсумковому контролі

ЛІТЕРАТУРА

1. Радченко М., Голубева М., Бахтіярова Х. Засоби активізації пізнавальної діяльності студентів на лекціях. *Наукові записки. Том 175. Педагогічні, психологічні науки та соціальна робота*, 2015. С. 29–32.
2. Кузьменко Г. Розвиток пізнавальної мотивації на лекціях із фізики. *Педагогічні науки*, (1), 2013. 66–71.
3. Ильин Е. *Мотивация и мотивы* (Серия «Мастера психологии»). СПб.: Питер, 2003. 512 с.
4. Парфілова С. Л. Формування пізнавального інтересу як мотиву навчальної діяльності. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. Київ; Вінниця: ДОВ «Вінниця». 2006. Випуск 10. С. 81–84.
5. Коломієць А. А., Криворучко І. М. Аналіз підходів до формування мотивації навчально-пізнавальної діяльності студентів у процесі їх фундаментальної підготовки. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, (4), 2014. 129–134.
6. Лаврук В. П. Аналіз шляхів підвищення ефективності викладання лекцій. *Проблеми підготовки фахівців-аграріїв в навчальних закладах вищої та професійної освіти: матер.* Кам'янець-Подільський, 2007. С. 71–79.
7. Головка Л. Активізація самостійної роботи студентів під час лекційних занять. *Освіта і управління*. № 1. 2002. С. 147–150.

8. Arthurs L.A., Kreager B. Z. An integrative review of in-class activities that enable active learning in college science classroom settings. *International Journal of Science Education*. 2017. 10.1080/09500693.2017.1363925
9. Seth C. W., Hayden D., Osborn S., Lange R. Enhancing agency in career development via cognitive information processing theory. *British Journal of Guidance and Counselling*. 2021. 10.1080/03069885.2020.1867703
10. Min C., Yixue H., Victor C. M. Leung Cognitive information measurements: A new perspective. *Information Sciences*. 2019. 10.1016/j.ins.2019.07.046
11. Ford R., Vigentini L., Prusty G. A Massive Open Online Course (MOOC) on engineering mechanics: data analytics informing learning design and improvement. *Australian Journal of Mechanical Engineering*. 2021. 10.1080/14484846.2019.1596049
12. Sailer M., Sailer M. Gamification of in-class activities in flipped classroom lectures. *British Journal of Educational Technology*. 2021. 10.1111/bjet.12948
13. Єрмаков С. В., Семенишена Р. В. Методи та прийоми організації ефективного засвоєння навчального матеріалу в процесі викладання лекцій. *Молодий вчений*. 2016. № 11 (38). С. 432–435.
14. Єрмаков С. В. Лекційний виклад теоретичного матеріалу у сучасному суспільному сприйнятті. *Збірник наукових праць Вінницького педагогічного університету*.

Вінниця, Вінницький педагогічний університет. 2012. С. 67–72.

15. Єрмаков С. В. Пізнавальна інформація, як запорука забезпечення природної допитливості студентів на заняттях. *Наука і методика*. Випуск 5. Київ : Аграрна освіта, 2005.

16. Бендера І. М., Девін В. В., Єрмаков С. В. До питання методики викладання дисципліни «Технічна механіка» в аграрних вищих навчальних закладах І–ІІ рівня акредитації. *Проблеми підготовки фахівців-агра-*

рів у навчальних закладах вищої та аграрної освіти. Кам'янець-Подільський : Аксіома, 2006. С. 77–81.

17. Гордон Д. (2013). *Почему мы не проваливаемся сквозь пол*. Москва : Мир, 2013. 272 с.

18. *Технічна механіка. Частина 1* – Теоретична механіка 1.1. Статика. Конспект цікавих лекцій. Кам'янець-Подільський. Коледж ПДАТУ, 2005. 26 с.

19. *Технічна механіка. Частина 1* – Теоретична механіка 1.2. Кінематика 1.3. Динаміка Конспект цікавих лекцій. Кам'янець-Подільський : Коледж ПДАТУ, 2004. 28 с.

INVOLVEMENT OF COGNITIVE INFORMATION IN THE TEACHING OF TECHNICAL MECHANICS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS OF AGRO-TECHNICAL DIRECTION

Serhii Yermakov

Head of the Educational and Scientific Laboratory

“DAK GPS”, 13 Shevchenko str., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region, Ukraine, 32316, ermakov@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-6840-5309

Vladlen Devin

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Technical Service and General Technical Disciplines

Podillia State University, 13 Shevchenko str., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region, Ukraine, 32316, dvvpk.123@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-2994-3144

Vasyl Tkachuk

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Technical Service and General Technical Disciplines

Podillia State University, 13 Shevchenko str., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region, Ukraine, 32316, twskmg@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-5414-2387

Dariia Vilchynska

Candidate of Agricultural Sciences,

Assistant Professor at the Department of Energy-saving Technologies and Energy Management

Podillia State University, 13 Shevchenko str., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region, Ukraine, 32316, daria.vilchynska@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-3322-6722

The results of pedagogical research on the impact of the inclusion of cognitive information during the teaching of “Technical Mechanics” at the College of Agricultural Engineering are presented. The aim of the work was to determine the impact of the amount of cognitive information involved in the explanation on the effectiveness of theoretical classes and the quality of knowledge acquisition by students. The research was conducted in the context of the educational process of studying the discipline “Technical Mechanics” in parallel groups. The initial count of qualitative changes was determined by the control of students’ residual knowledge of the previous topics of the course and partly from related disciplines. The research was conducted by conducting classes in two groups according to different methods: with a wide range of cognitive information and a classic presentation of the textbook. The number of students was identical, but, unfortunately, there was no absolute equality in the level of knowledge. In order to obtain more obvious results, the group whose initial knowledge was lower was chosen as the experimental one. The nature of learning material by different methods from the sections “Kinematics” and “Dynamics” was studied.

The result of the study was to identify patterns in improving the quality of students’ knowledge. It is established that the involvement of cognitive digressions in classes on technical mechanics has improved the overall activity of perception

and assimilation of educational material. This is reflected in the improvement of both qualitative and quantitative results in the final test in the experimental group compared to the control.

Key words: cognitive information, activation of cognitive activity, technical mechanics, residual knowledge, final control.

REFERENCES

1. Radchenko, M., Holubieva, M., Bakhtiarova, Kh. (2015). Zasoby aktyvizatsii piznavalnoi diialnosti studentiv na lektsiiakh. *Naukovi zapysky. Tom 175. Pedahohichni, psykholohichni nauky ta sotsialna robota*. P. 29–32.
2. Kuzmenko, H. (2013). Rozvytok piznavalnoi motyvatsii na lektsiiakh iz fizyky. *Pedahohichni nauky*, (1), 66–71.
3. Il'in, E. (2003). *Motivatsiya i motyvy* (Seriya "Mastera psihologii"). 2003. 512 p.
4. Parfilova, S. L. (2006). Formuvania piznavalnoho interesu yak motyvu navchalnoi diialnosti. *Suchasni informatsiini tekhnologii ta innovatsiini metodyky navchannia v pidhotovtsi fakhivtsiv: metodolohiia, teoriia, dosvid, problemy*. V. 10. P. 81–84.
5. Kolomiets, A. A., Kryvoruchko, I. M. (2014). Analiz pidkhodiv do formuvannia motyvatsii navchalno-piznavalnoi diialnosti studentiv u protsesi yikh fundamentalnoi pidhotovky. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, (4), P. 129–134.
6. Lavruk, V. P. (2007). Analiz shliakhiv pidvyshchennia efektyvnosti vykladannia lektsii. *Problemy pidhotovky fakhivtsiv-ahraryiv v navchalnykh zakladakh vyshchoi ta profesiinoi osvity*. Kamianets-Podilskyi. P. 71–79.
7. Holovko, L. (2002). Aktyvizatsiia samostiinoi roboty studentiv pid chas lektsiinykh zaniat. *Osvita i upravlinnia*. № 1. P. 147–150.
8. Arthurs, L.A., Kreager, B. Z. (2017). An integrative review of in-class activities that enable active learning in college science classroom settings. *International Journal of Science Education*, doi: 10.1080/09500693.2017.1363925
9. Seth, C. W., Hayden, D., Osborn, S., Lange, R. (2021). Enhancing agency in career development via cognitive information processing theory. *British Journal of Guidance and Counselling*, 10.1080/03069885.2020.1867703
10. Min, C., Yixue, H., Victor, C. M. (2019). Cognitive information measurements: *A new perspective*. *Information Sciences*. doi: 10.1016/j.ins.2019.07.046
11. Ford, R., Vigentini, L., Prusty, G. A. (2021). Massive Open Online Course (MOOC) on engineering mechanics: data analytics informing learning design and improvement. *Australian Journal of Mechanical Engineering*. 10.1080/14484846.2019.1596049
12. Sailer, M., Sailer, M. (2021). Gamification of in-class activities in flipped classroom lectures. *British Journal of Educational Technology*, 10.1111/bjet.12948
13. Yermakov, S. V., Semenysheva, R. V. (2016). Metody ta priomy orhanizatsii efektyvnoho zasvoiennia navchalnoho materialu v protsesi vykladannia lektsii. *Molodyi vchenyi*. № 11 (38). P. 432–435.
14. Yermakov, S. V. (2012). Lektsiinyi vyklad teoretychnoho materialu u suchasnomu suspilnomu spryiniatti. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho pedahohichnoho universytetu*. Vinnytsia : Vinnytskyi pedahohichniy universytet. 2012. P. 67–72.
15. Yermakov, S. V. (2005). Piznavalna informatsiia, yak znariaddia zabezpechennia pryrodnoi dopytlyvosti studentiv na zaniattiakh. *Nauka i metodyka*. Vypusk 5. Kyiv : Ahrarna osvita.
16. Bendera, I. M., Devin, V. V., Yermakov, S. V. (2006). Do pytannia metodyky vykladannia dystsypliny "Tekhnichna mekhanika" v ahrarnykh vyshchykh navchalnykh zakladakh I–II rivnia akredytatsii. *Problemy pidhotovky fakhivtsiv-ahraryiv u navchalnykh zakladakh vyshchoi ta ahrarnoi osvity*. Kamianets-Podilskyi. P. 77–81.
17. Gordon, J. (2013). *Why don't we fall through the floor*. 272 p.
18. *Tekhnichna mekhanika. Chastyna 1 – Teoretychna mekhanika 1.1*. Statyka. Konspekt tsikavykh lektsii. Kamianets-Podilskyi. Koledzh PDATU, 2005. 26 p.
19. *Tekhnichna mekhanika. Chastyna 1 – Teoretychna mekhanika 1.2*. Kinematyka 1.3. Dynamika Konspekt tsikavykh lektsii. Kamianets-Podilskyi : Koledzh PDATU, 2004. 28 p.

Стаття надійшла 15.02.2022

ТЕНДЕНЦІЇ У ОСВІТНЬО-НАУКОВОМУ ПРОСТОРІ: ПРОБЛЕМИ ТА РИЗИКИ**Ігор Козубцов**

доктор педагогічних наук, кандидат технічних наук, професор

Військовий інститут телекомунікацій і інформатизації імені Героїв Крут, вул. Київська, 45/1, Київ, Україна, 01011;

ORCID: 0000-0002-7309-4365**Олексій Бескровний**

кандидат технічних наук, доцент

Військовий інститут телекомунікацій і інформатизації імені Героїв Крут, вул. Київська, 45/1, Київ, Україна, 01011;

ORCID: 0000-0001-7191-7957**Леся Козубцова**

кандидат технічних наук

Військовий інститут телекомунікацій і інформатизації імені Героїв Крут, вул. Київська, 45/1, Київ, Україна, 01011;

ORCID: 0000-0002-7866-8575**Анастасія Палагута**

Військовий інститут телекомунікацій і інформатизації імені Героїв Крут, вул. Київська, 45/1, Київ, Україна, 01011;

ORCID: 0000-0002-5917-6874**Ольга Мироненко**

викладач

Військовий інститут телекомунікацій і інформатизації імені Героїв Крут, вул. Київська, 45/1, Київ, Україна, 01011;

ORCID: 0000-0002-3763-5478

Мета статті полягає у виявленні ключових тенденцій у освітньо-науковому просторі з оглядом їх проблем та ризиків. В статті проаналізовано за останні 30 років стійкі тенденції у освітньо-науковому просторі України та ближнього зарубіжжя. Вивчено думки окремих дослідників, що становлять меншість. На підставі цих думок виявлено негативні тенденції, які згруповано в сім ключових напрямки. Ці напрямки охоплюють освітньо-науковий простір України. Тотальний «вірус цифровізації» і не обізнаність окремих дослідників-популістів сприяли впровадженню науково не обґрунтованих рішень. Представлене дослідження не вичерпує всіх аспектів зазначеної проблеми. Теоретичні результати, що одержані в процесі наукового пошуку, становлять підґрунтя для подальшого її вивчення та врахуванні при виборі нових рішень у науково-освітньому просторі. Наукова новизна роботи полягає в тому, що виявлено складну багатоаспектну проблему вибору науково обґрунтованої стратегії цифровізації життя, виробництва і освіти, яка дозволила б використовувати всі величезні переваги комп'ютера і уникнути більшу частину ризиків.

Повторність досліджень підтверджується аналізом обраних цитованих джерел наукових виданнях. Для вирішення поставлених завдань використовувалися теоретичні методи дослідження: методи історичного аналізу для аналізу й узагальнення наукової літератури за проблемою роботи; метод структурно-генетичного аналізу та синтезу, при уточненні об'єкту та предмету дослідження; метод аналітично-порівняльного аналізу при аналітично-порівняльному оцінюванні новизни результатів дослідження; синтез та узагальнення – для обґрунтування методологічних і методичних основ дослідження; узагальнення – для формулювання висновків і рекомендацій щодо результативності.

В статті проаналізовано за останні 30 років стійкі тенденції у освітньо-науковому просторі України та ближнього зарубіжжя. Вивчено думки окремих дослідників, що становлять меншість. На підставі цих думок виявлено негативні тенденції, які згруповано в сім ключових напрямки. Ці напрямки охоплюють освітньо-науковий простір України. Тотальний «вірус цифровізації» і не обізнаність окремих дослідників-популістів сприяли впровадженню науково не обґрунтованих рішень. Представлене дослідження не вичерпує всіх аспектів зазначеної проблеми.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що виявлено складну багатоаспектну проблему вибору науково обґрунтованої стратегії цифровізації життя, виробництва і освіти, яка дозволила б використовувати всі величезні переваги комп'ютера і уникнути більшу частину ризиків.

Теоретичні результати, що одержані в процесі наукового пошуку, становлять підґрунтя для подальшого її вивчення та врахуванні при виборі нових рішень у науково-освітньому просторі.

Стратегія розвитку цифрової економіки в освітньо-наукового простору полягає у вирішенні комплексу проблем сучасного стану системи освіти, науки та фінансування. На освіті та науці зі сторони держави економити неможна.

Ключові слова: тенденція, освіта, наука, проблема, ризик, цифровізація.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Ми живемо в епоху кардинальних змін, глобалізації та стрімкого технологічного прогресу [1]. Дана стаття з'явилася в якості одного з відповідей на виклик, кинутий освітньо-науковому простору під час пандемії COVID-19. Тотальний і екстрений перехід світових систем освіти та науки на дистанційний (віддалений) формат взаємодії всіх його суб'єктів. Людство стало свідком того, як через COVID-19 «вірус цифровізації» різко завоював весь світ перетворивши кіберпростір в новий вимір геополітичного суперництва з його проблемами та ризиками [2].

Постановка проблеми і зв'язок її з важливими науковими завданнями. Лобіювання цифрової економіки Урядом нашої держави, схваливши Концепцію розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки [3], створюються передумови до виникнення негативних проблем та ризиків в масштабі країни.

Обраний шлях розвитку в Україні цифрової економіки веде:

по-перше, до інтенсифікації використання та споживання інформаційно-комунікаційних, цифрових технологій та інформаційно-телекомунікаційних систем;

по-друге, поряд із обіцяними «золотими горами» успіху та досягненнями, приховуються колосальні наслідки, наприклад в наслідок форс-мажорних обставин, як це сталося в наслідок COVID-19;

по-третє, принципові зміни у організації освітньо-науковому просторі можливі, ризики яких не досліджено.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ ЗА НАПРЯМКОМ. Серед сучасних досліджень практично немає спеціальних наукових праць, які безпосередньо торкаються зазначеної теми. Однак багато авторів, які вивчали цю проблематику, так чи інакше торкалися питання взаємозв'язку та взаємовпливу. Перехід до цифрової економіки та суспільства України несе не передбачені події, тому у сучасних дослідженнях відмічаються, що в прийнятті рішень велике місце займають несподівані події,

прихід яких ніхто не чекає: від «чорного лебедя» Талеба [4]. Щоб мінімізувати непередбачені наслідки та події впровадження цифрової економіки в Україні є неминучим внаслідок процесу глобалізації. Автори вважають за потребу розглянути питання про стратегічні напрямки розвитку культурно-освітнього та наукового простору в епоху цифрової економіки.

В роботі [5] А. А. Вербицкий привертає увагу наукового суспільства на проблемах та ризиках від цифрового навчання.

В роботі [6] подано опис деяких негативних тенденцій в галузі сучасної освіти в країнах СНД в умовах глобалізації: концептуальний шлях виходу з кризи.

Аналізуючи роботу [7] можна встановити їх низьку компетентність у сфері національної безпеки України, проте зовсім не розкрито проблему реалізації національної безпеки у галузі освіти і науки взагалі, у т. ч. – цифрової.

В роботі [8] автор приходить шість ключових проблем за результатами їх аналізу приходить до висновку, що цифрова трансформація освіти – явище суперечливе. Вона робить освіту доступною та «мобільною», дає можливість швидко реагувати на потреби суспільства. Однак, водночас породжує ряд негативних наслідків, які потрібно враховувати та шукати способи їх подолання.

В роботі [9] Г. Л. Тульчинский висвітлює ключові виклики вищої школи на тотальну цифрову трансформацію освіти.

В роботі [10] привертає увагу на проблему дегуманізації суспільних відносин, поява людини «маси», що втратила свій творчий потенціал, людину – споживача культурних благ, але не здатну забезпечити подальший розвиток цивілізації. Автор вважає, що цифрова культура має неоднозначні наслідки у розвитку вітчизняної освіти. Дослідники зазначають, що повсюдне впровадження цифрових технологій призводить до зниження інтелектуальної культури суспільства. Коли «машина» починає виконувати розвиваючі людський інтелект функції, розвиток припиняється, а розумові здібності деградує.

У статті [11] висвітлюються більш суттєві проблеми та ризики вищої освіти у контексті сучасних процесів глобалізації та євроінтеграції. Акцентується увага на проблемах професійного вибору сучасної молоді; зв'язку вищої освіти з ринком праці; нестачі висококваліфікованих кадрів; працевлаштування випускників закладів вищої освіти; відсутності зв'язків між освітянами та працедавцями; трансформації сучасних систем освіти в утилітарно-прагматичному напрямку; «дегуманізації» сучасної вищої освіти.

Автор роботи [12] зазначає про недостатність педагогічних, психологічних, медичних досліджень, присвячених питанням і явищам, що стосуються цифровізації освіти. Відсутність наукових програм, пов'язаних з цілеспрямованими і всебічними дослідженнями в даній області, а також з вивченням і аналізом зарубіжного досвіду. Відсутність механізму впливу наукових висновків і рекомендацій на прийняті рішення. І все це має насторожувати.

Проте аналіз науково-методичної літератури та періодичних видань виявив відсутність дослідження з об'єктивного аналізу тенденцій в освітньо-науковому просторі з оглядом проблем та ризиків.

Мета статті полягає у виявленні ключових тенденцій у освітньо-науковому просторі з оглядом їх проблем та ризиків.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Проблема витоку наукових та науково-педагогічних кадрів за кордон. Ця проблема обумовлена:

по-перше, відносно низькому рівнем зарплати у ВНЗ;

по-друге, з впровадженням в Україні норми академічної мобільності [13], стала можливою міграція на етапі навчання в аспірантурі, докторантурі.

Менше ця проблема стосується ад'юнктів, оскільки військова системи освіти України є феноменальним компонентом загальної системи освіти України.

За даними Державної служби статистики України, кількість випускників ВНЗ, що прийшли на роботу в наукові організації, складала 1 % від загальної чисельності зайнятих науково-дослідними розробками. Якщо проаналізувати тенденції кількості науково-педагогічних працівників у ВНЗ, то починаючи з 2013 року відбувається їх скорочення частки кандидатів і докторів наук, у загальній чисельності науково-педагогічних працівників частка кандидатів наук складала 48,76 %, докторів – 10 %, то вже на кінець

2015 року ці відсотки відповідно склали – 42,49 % та 8,7 %. Це пов'язано в першу чергу зі скороченням кількості студентів та пенсійною реформою, що була проведена в Україні в 2015 році.

Проблема витоку нових наукових результатів з України та їх становлення стає надбанням зацікавлених іноземних виробників. Ця проблема є комплексною.

По-перше, з впровадженням нових обов'язкових вимог для здобувачів наукового ступеня в частині, що стосується обов'язкового опублікування статей у наукових, зокрема електронних, фахових виданнях України, а також у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію [14]. Це відкрило можливість відображати основні наукові результати дисертації з відповідної галузі науки для інших країн і обумовило швидкий доступ до новизни через мережу Інтернет.

По-друге, впровадження оцінювання якості наукової роботи та індексів цитування (h-індекс, i10-індекс та ін.), коли публікації у вітчизняних журналах оцінюються нижче, ніж в зарубіжних [15]. Це спонукає до публікації у наукових періодичних виданнях інших держав, наприклад у Scopus та Web of Science. Ця вимога є передумовою витоку з України наукових результатів, технології та інших випереджуючих перспектив, шляхом власноруч віддаючи ідеї службам науково-технічної розвідки зацікавлених іноземних країн, виробникам.

По-третє, практика свідчить, що у таких «елітних» наукових виданнях аспіранти та докторанти внаслідок неусвідомленості розкривають наукові розробки, які охоплюють державний і військовий сектор, що становлять державну таємницю. Слід зазначити, що друком в «елітному» науковому виданні вчені створюють додатково відтік грошового потенціалу шляхом обов'язкової плати за друк, незважаючи на декларацію Будапештської ініціативи відкритого доступу до наукових публікацій (*The Budapest Open Access Initiative*). Та на жаль майже всі публікації платні. При цьому витрачаються серйозні гроші на участь у міжнародних рейтингах, заради чого деякі університети навіть виділяють викладачам спеціальні кошти на платні публікації, навколо чого одразу ж склався ринок організації таких публікацій у журналах та збірниках, що індексуються у Scopus та WoS. Те, що ці збірки та журнали є фактично «братськими могилами» текстів, що не читаються, нікого не хвилює. Контент наукових публікацій нікого не цікавить. Наука перетворилася на набір

наукометричних даних – формальних реквізитів, трохи більше [9, с. 133].

По-четверте, популяризація трансферу технологій з метою комерціалізації [16].

Економія на фінансуванні освітніх та наукових розробок. Потужне фінансування з недержавних резервів спостерігається в розвиток юриспруденції, економіки, туризму, менеджменту, які приносять швидке матеріальне збагачення. Для забезпечення таких дисциплін основна стаття фінансування – комп'ютерне оснащення.

Гірший стан у сфері фундаментальних наук. Через об'єктивні причини фінансування вбачається тільки державне. Та сьогодні напевне немає жодної недержавної установи, що фінансуватиме дослідження, результати яких будуть прибутковими через 20–30 років. А для фундаментальних наук необхідні цілі лабораторії оснащені сучасним обладнанням для наукових досліджень. Нажаль в сучасних реаліях основна стаття фінансування – НДР, конференції, друк наукових публікацій. Зрозуміло, що рівень фінансування цих статей на порядок нижчий за рівень фінансування прикладних досліджень. Під виглядом інноваційної діяльності створюються умови до трансферу технологій.

Проблема збереження фундаментальної освіти України. Штучний попит на фахівців економічного профілю в сучасних ринкових умовах диктується потребами епохи цифрової економіки. Вона проявляється у системі освіти в необмеженому хаотичному зростанні числа недержавних ВНЗ, які в свою чергу спеціалізуються на юридичних та економічних спеціальностях, а також на скороченні традиційних інститутів, що готують кваліфікованих інженерів [17]. Слід зазначити, що недержавні ВНЗ не забезпечують реальної фундаментальної підготовки.

Також в Україні відбувається скорочення традиційних інститутів, що готують кваліфікованих інженерів. Якщо проаналізувати дані Державної служби статистики України, то можна виявити стійку тенденцію скорочення кількості вищих навчальних закладів України. На початок 2006/2007 навчального року кількість ВНЗ в Україні складала 920, в тому числі I–II рівнів акредитації 570, III–IV рівнів акредитації – 350. На початок 2015/2016 навчального року їх кількість скоротилась на 28,4 % і складала 659, в тому числі I–II рівнів акредитації 371, III–IV рівнів акредитації – 288. Це обумовлене, насамперед, демографічною та економічною ситуацією в країні. Станом на 2015/16 н. р. частка ВНЗ держав-

ної та комунальної форми власності становить 79,67 %, приватної – 20,33 %. Надалі цей показник повільно скорочується.

Таким чином, економічний розвиток країни вимагає вкладень в майбутнє, стратегічного бачення перспективи застосувань сучасних технологій. А «здоровий глузд» фокусується на повсякденних, сьогохвилинних потребах. Якщо розглядати майбутнє України з інноваційним розвитком і науковими проривами, то потрібно орієнтуватися на фундаментальну освіту майбутнього. Необхідно починати готувати фахівців, які будуть потрібні завтра, навіть не дивлячись на те, що сьогодні для них в країні немає роботи.

Помилковим є думка авторів статті про те, що переваги цифрової освіти та навчальний потенціал Facebook [1, с. 192]. Ми погоджуємося, що самоосвіта вдома є реальністю вже сьогодні, однак онлайн платформи Khan Academy, Coursera, Prometheus, Wikipedia та YouTube, які розробляють різноманітні курси для надання послуг веб-навчання ніколи не замінять фундаментальної освіти.

Проблема виникнення ідеї непотрібності вищої освіти взагалі. Повну відмову від вищої освіти пропонує американський мільярдер Р. Thiel [18]. На його думку, 4–6 років проведені в виші – це втрачені роки життя. Спеціальність, яку студент отримає, може зникнути з ринку праці за цей час [9, с. 128]. Такі уявлення є «популярним» в освітній сфері життя. Вони пов'язані з хибним уявленням про швидкість та легкість отримання необхідних знань.

Проблема знецінення дипломів про вищу освіту. Про означену проблем, ось як описує автор роботи [8]. Все більше і спеціальних компаній провайдерів, що здійснюють освітню діяльність, але не є прямо прив'язаними до університетів. На її думку існує опосередкований зв'язок, оскільки вони часто залучають кращих лекторів вищих навчальних закладів до створення освітнього контенту для он-лайн курсів. Ця тенденція породжує проблему зниження статусу університетського диплома. Сертифікати онлайн-курсів часто цінуються у роботодавців не менше ніж університетський диплом, за винятком хіба що найбільш престижних у світі університетів.

Проблеми від «цифрової освіти». Перш за все, потрібно розібратися з поняттями «Цифрове навчання» і «цифрова освіта», які часто використовуються як синоніми, що неправомірно. Використання терміну «Цифрове навчання», як і пов'язаного з ним поняття «Цифрова дидак-

тика», тобто теорія цифрового навчання, не викликають сумніву. У них мова йде про закономірності, принципи і механізми засвоєння навчальними предметних знань, умінь, навичок, компетенцій, в тому числі з використанням комп'ютера.

А ось термін «Цифрова освіта», який часто зустрічається в педагогічній літературі, нормативно-правових документах і в педагогічному побуті, неправомірний. Справа в тому, що слово «освіта» несе в собі три різних сенсу в залежності від контексту його вживання в мові.

Перший сенс – це освітній ценз конкретної людини, який у відповідь на питання, яка у нього освіта, відповідає: Загальна середня, професійна або вища.

Другий сенс – система освіти, як сукупність освітніх програм, їх реалізують освітні організації і система управління ними.

Третій сенс – процес освіти, що складається з навчання і виховання в їх єдності.

Виходячи з цих відмінностей, правомірно використовувати тільки терміни «цифрова система освіти» (а не «система цифрової освіти») і «Цифрове навчання», оскільки комп'ютер не займається вихованням людини. Мабуть, інтуїтивно відчуваючи це, адепти цифрового навчання не говорять про «Цифрове виховання», ховаючи «його в терміні» «Цифрова освіта».

На наш погляд, поява цифрового навчання у світі і буквально «сп'яніння» ним, у тому числі в Україні, відбулося під впливом чотирьох об'єктивних факторів, що майже збіглися в часі:

- успіхи когнітивних наук, які стверджують при цьому, що механізми переробки інформації мозком людини і комп'ютером ідентичні («комп'ютерна метафора»;

- спадкування технологічного підходу до управління процесом навчання, розвиненому (1960–1970-ті роки) в нині забутому програмованому навчанні-попереднику цифрового;

- поява індустрії персональних комп'ютерів, самих різних цифрових пристроїв і необхідного для їх роботи обладнання;

- тиск бізнесу: всю цю продукцію потрібно продавати, а система освіти – невичерпний ринок.

Поряд з величезними і ще маловивченими можливостями цифрового навчання можна назвати цілий ряд проблем і ризиків, пов'язаних з їх тотальним впровадженням в систему освіти:

- у світі немає педагогічної або психолого-педагогічної теорії цифрового навчання, на яку могли б спиратися вчителі, викладачі коледжів і вузів при його проектуванні і використанні,

тоді як жоден інженер не візьметься проектувати якийсь технічний пристрій без опори на фізичну (хімічну, біологічну) теорію;

- немає переконливих доказів підвищення якості освіти за допомогою використання цифрового навчання. З цієї причини існує свідомий або неусвідомлений опір цифровізації навчання значної частини педагогічного корпусу країни, особливо серед вчителів і викладачів старшого покоління;

- процес навчання і освіти реалізується за допомогою спілкування педагога і учнів. Спілкування складається з трьох компонентів – комунікативного, інтерактивного і перцептивного, а також з двох сторін – вербальної (словесної) і невербальної, до якої відносяться «мова тіла» (поза, рухи тіла, вираз очей і ін.) і екстралінгвістичні, звукові характеристики мови (інтонація, висота звуку, тон і ін.). Згідно результатів досліджень [19] в слові, носії значення, відбивається тільки 7 % сенсу сказаного, в рухах мовця – 55 %, екстралінгвістики – 38 % а цифрова техніка нездатна вловлювати такі тонкощі.

На думку дослідників (Л. Ф. Мараховський, Б. А. Сусь, Г. Л. Тульчинський) відзначають, що при все зростаючому рівні цифровізації суспільства і системи освіти від людини потрібно не володіння необхідними для життя і професійної діяльності знаннями, а отримання доступу до комп'ютерної системи, де знаходиться потрібна інформація. Все це призводить до деградації функцій пам'яті людини, сприйняття, уяви, тощо.

ВИСНОВКИ. Таким чином, можна сформулювати наступні висновки:

1. Аналіз показує, що у 1990-х роках Україна пішла по шляху ортодоксального лібералізму перетворивши потенціал на «примітивно сировинну економіку». Була знищена основна частина прикладної науки країни, а в 2000-і роки – кількість навчальних закладів за роками скоротилася з 920 у 2006 році до 659 у 2015 році. Зазнає скорочення і науково-педагогічний та науковий потенціалу ВНЗ, зменшується частка кандидатів і докторів наук, а також професорів і доцентів у загальній її кількості. Це напряму відображається на рівні підготовки сучасних фахівців фундаментальних спеціальностей. Частка видатків на освіту із зведеного бюджету має тенденцію до скорочення. Створений штучний попит на фахівців юридичних, економічних і менеджерських спеціальностях у сучасних ринкових умовах робить обмеження у попиті на фахівців фундаментальних спеціальностей України.

2. Фундаментальні дослідження відіграють важливу роль. На їх основі можна відродити як прикладні роботи, так і військову науку та освіту. З державної точки зору, фундаментальна наука об'єктивно необхідна керівникам, які ухвалюють стратегічні і доленосні рішення.

3. Слід насторожено ставитися до обов'язкових вимог для здобувачів наукового ступеня в частині, що стосується обов'язкового опублікування статей у наукових, зокрема електронних, фахових виданнях України, а також у наукових періодичних виданнях інших держав з наряду, з якого підготовлено дисертацію, оскільки вони обумовлюють швидкий доступ службам науково-технічної розвідки зацікавлених іноземних країн, виробникам до новизни через мережу Інтернет.

4. Стратегія розвитку цифрової економіки в освітньо-наукового простору полягає у вирішенні комплексу проблем сучасного стану системи освіти, науки та фінансування, а саме забезпечення фінансуванні освітніх та наукових розробок в Україні не за «залишковим принципом», вирішення проблеми витоку наукових та науково-педагогічних кадрів за кордон та нових наукових результатів. На освіті та науці зі сторони держави економити неможна.

5. Необхідно розробити адекватну психолого-педагогічну і власне педагогічну теорію, що органічно включає в себе комп'ютер, як засіб навчання з його дійсно величезними можливостями отримання, зберігання, переробки та передачі інформації. Тому є підстави стверджувати, що використання більш широко цифрових технологій є не обґрунтовано наукою. Воно носить зовнішній характер, тобто так роблять у розвинених країнах; треба комусь продавати всю цю техніку, так вирішило керівництво навчального закладу або органу управління всім освітою, на це виділені кошти і т. п. Тобто вбудовування цифрових засобів у традиційну систему навчання здійснюється із зовнішніх причин, а не тому, що отримані вагомі наукові основи продуктивності їх використання.

Наукова новизна полягає в тому, що виявлено складну багатоаспектну проблему вибору науково обґрунтованої стратегії цифровізації життя, виробництва і освіти, яка дозволила б використовувати всі величезні переваги комп'ютера і уникнути більшу частину ризиків.

Найближчою перспективою подальшого дослідження. Представлене дослідження не вичерпує всіх аспектів зазначеної проблеми. Тео-

ретичні результати, що одержані в процесі наукового пошуку, становлять підґрунтя для подальшого її вивчення та врахуванні при виборі нових рішень у науково-освітньому просторі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іваницький Р. І., Ковальчук О. Я., Попіна С. Ю. Проблеми та виклики цифрової освіти. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методи навчання: досвід, тенденції, перспективи* : матеріали II міжнародної науково-практичної інтернет-конференції з нагоди святкування 30-річчя кафедри інформатики та методики її навчання (8–9 листопада 2018 р.). Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2018. С. 190–192.

2. Дубов Д. В. Кіберпростір як новий вимір геополітичного суперництва : монографія. К. : НІСД, 2014. 328 с.

3. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.01.2018 № 67-р «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-p>

4. Талєб Н. Н. Чёрный лебедь. Под знаком непредсказуемости. М., 2015. 736 с.

5. Вербицкий А. А. Цифровое обучение: проблемы, риски и перспективы. Электронный научно-публицистический журнал «*Номо Cyberus*». 2019. № 1 (6). URL: http://journal.homocyberus.ru/Verbitskiy_AA_1_2019

6. Козубцов И. Н. О некоторых негативных тенденциях в области современного образования в странах СНГ в условиях глобализации: концептуальный путь выхода с кризиса. Материалы Международной научно-практической онлайн-конференции «*Современные тренды науке и образовании*». Алматы : «Қыздар университеті» баспасы, 2021. С. 91–94.

7. Ляхощь Л. Л., Ляхощь В. П. Цифрова освіта і наука – запорука національної безпеки України. Національна безпека України у викликах новітньої історії: колективна монографія. Ч. II «Гуманітарні проблеми національної безпеки України». ДП «Експрес-об'ява». К., 2019. С. 277–289.

8. Кіндратець О. Проблеми цифрової трансформації освіти. *Гуманітарний вісник Запорізької державної інженерної академії*. 2019. С. 59–60.

9. Тульчинский Г. Л. Цифровая трансформация образования: вызовы высшей школе. *Философские науки*. 2017. № 6. С. 121–136.

10. Stokov A. A. Digitalization of education: problems and prospects. *Vestnik of Minin University*. 2020. Vol. 8, no. 2. Pp. 15.

11. Желанов Д. В. Суттєві проблеми та ризики сучасної вищої освіти: норвезький досвід їх запобігання та розв'язання. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2019. Випуск 2 (115). С. 56–61.

12. Starichenko B. E. (2020). Digitalization of Education: Realities and Problems. *In Pedagogical Education in Russia*. No. 4. Pp. 16–26.

13. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про порядок реалізації права на академічну мобільність» від 12.08.2015 № 579.

14. Наказ МОНмолодьспорт України «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» від 17.10.2012 № 1112.

15. Козубцов И. Н. О влиянии научных индексов цитирования на Национальную безопасность и стратегию развития государства в современной научной картине мира знаний. *Гілея: науковий вісник*, 2013. Вип. 74 (№ 7). С. 230–232.

16. Ukolova N. V., Monakhov S. V., Shikhanova J. A. Technology transfer: genesis of development and modern

ways of commercialization. *Business. Education. Law*. 2020, no. 3, pp. 25–30.

17. Солодова Е. А. Новые модели в системе образования: Синергетический подход : учебное пособие. М. : Книжный дом «ЛИБРИКОМ», 2012. 344 с.

18. Clynes T. Peter Thiel thinks you should skip college, and he even pay your for your trouble. *Newsweek magazine*. URL: <https://www.newsweek.com/2017/03/03/peterthiel-fellowship-college-higher-education-559261.html>

19. Пиз Аллан. Язык телодвижений: как читать мысли других людей по их жестах [Пер. с англ. Н. Е. Котляр]. Нижний Новгород : Ай Кью, 1992. 262 с.

TRENDS IN THE EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC SPACE: PROBLEMS AND RISKS

Ihor Kozubtsov

Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor

Military Institute of Telecommunication and Information technologies named after the Heroes of Kruty, 45/1 Kyivska str., Kyiv, Ukraine, 01011;

ORCID: 0000-0002-7309-4365

Oleksiy Beskrovnyi

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Military Institute of Telecommunication and Information technologies named after the Heroes of Kruty, 45/1 Kyivska str., Kyiv, Ukraine, 01011;

ORCID: 0000-0001-7191-7957

Lesia Kozubtsova

Candidate of Technical Sciences

Military Institute of Telecommunication and Information technologies named after the Heroes of Kruty, 45/1 Kyivska str., Kyiv, Ukraine, 01011;

ORCID: 0000-0002-7866-8575

Anastasia Palaguta

Military Institute of Telecommunication and Information technologies named after the Heroes of Kruty, 45/1 Kyivska str., Kyiv, Ukraine, 01011;

ORCID: 0000-0002-5917-6874

Olga Myronenko

Lecturer

Military Institute of Telecommunication and Information technologies named after the Heroes of Kruty, 45/1 Kyivska str., Kyiv, Ukraine, 01011;

ORCID: 0000-0002-3763-5478

Purpose. The purpose of the article is to identify key trends in the educational and scientific space with an overview of their problems and risks. **Methodology.** The repetition of research is confirmed by the analysis of selected cited sources in scientific publications. To solve the tasks set, theoretical research methods were used: methods of historical analysis for the analysis and generalization of scientific literature on the problem of work; the method of structural and genetic analysis and synthesis, when clarifying the object and subject of research; the method of analytical and comparative analysis in the analytical and comparative assessment of the novelty of research results; synthesis and generalization – to substantiate the methodological and methodological foundations of research; generalization-for formulating conclusions and recommendations on performance. **Results.** The article analyzes stable trends in the educational and scientific space of Ukraine and neighboring countries over the past 30 years. The opinions of individual researchers who make

up a minority are studied based on these opinions, negative trends are identified, which are grouped into seven key areas. These areas cover the educational and scientific space of Ukraine. The total “digitalization virus” and the lack of awareness of individual populist researchers contributed to the introduction of scientifically unsubstantiated solutions. The presented study does not exhaust all aspects of this problem. Originality. The scientific novelty of the work lies in the fact that a complex multidimensional problem of choosing a scientifically based strategy for digitalizing Life, Production and education is revealed, which would allow us to use all the huge advantages of a computer and avoid most of the risks. Practical value. The theoretical results obtained in the process of scientific research form the basis for its further study and consideration when choosing new solutions in the scientific and educational space. Conclusions. The strategy for the development of the digital economy in the educational and scientific space is to solve a complex of problems of the current state of the Education, Science and financing system. It is impossible to save money on education and science on the part of the state. References 19.

Key words: trend, Education, Science, Problem, risk, digitalization.

REFERENCES

1. Ivanycjkyj, R. I., Kovalchuk, O. Ja., Popina, S. Ju. (2018). Problemy ta vyklyky cyfrovoi osvity [Problems and challenges of digital education]. *Suchasni informacijni tekhnologiji ta innovacijni metodyky navchannja: dosvid, tendenciji, perspektivy* : materialy II mizhnarodnoji naukovopraktychnoji internet-konferenciji z naghody svjatkuvanja 30-richchja kafedry informatyky ta metodyky jiji navchannja (8–9 lystopada 2018 r.). Ternopilj : TNPU im. V. Ghnatjuka, pp. 190–192. [in Ukrainian]
2. Dubov, D. V. (2014). Kiberprostrir jak novyj vymir gheopolitychnogho supernyctva [Cyberspace as a new dimension of geopolitical rivalry] : monohrafija. K. : NISD, 328 p. [in Ukrainian]
3. Rozporjadzhennja Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17.01.2018 #67-r “Pro skhvalennja Koncepciji rozvytku cyfrovoi ekonomiky ta suspiljstva Ukrainy na 2018–2020 roky ta zatverdzhennja planu zakhodiv shhodo jiji realizaciji” [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 67-R of 17.01.2018 “On approval of the concept of development of the digital economy and Society of Ukraine for 2018–2020 and approval of the action plan for its implementation”]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-p> [in Ukrainian]
4. Taleb, N. N. (2015). Chyornyj lebed'. Pod znakom nepredskazuemosti [The black swan. Under the sign of unpredictability]. Moskva, 736 p. [in Russian]
5. Verbickij, A. A. (2019). Cifrovoe obuchenie: problemy, riski i perspektivy [Digital learning: problems, risks and prospects]. *Elektronnyj nauchno-publicisticheskij zhurnal “Homo Cyberus”*. № 1 (6). URL: http://journal.homocyberus.ru/Verbitskiy_AA_1_2019 [in Russian]
6. Kozubtsov, I. N. (2021). O nekotoryh negativnyh tendentsiyah v oblasti sovremennogo obrazovaniya v stranah SNG v usloviyah globalizatsii: kontseptual'nyj put' vyhoda s krizisa [On some negative trends in the field of modern education in the CIS countries in the context of globalization: a conceptual way out of the crisis]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi onlajn-konferentsii “Sovremennye trendy nauke i obrazovanii”*. Almaty : “Kyzdar universiteti” baspasy, pp. 91–94. [in Russian]
7. Ljakhocjka, L. L., Ljakhocjkyj, V. P. (2019). Cyfrova osvita i nauka – zaporuka nacionaljnoji bezpeky Ukrainy. Nacionaljna bezpeka Ukrainy u vyklykakh novitnoji istoriji [Digital education and science are the key to Ukraine's national security. National security of Ukraine in the challenges of modern history] : kolektyvna monohrafija. Ch. II “Ghumanitarni problemy nacionaljnoji bezpeky Ukrainy”. DP “Ekspres-ob'java”, Kyev. Pp. 277–289. [in Ukrainian]
8. Kindratec, O. (2019). Problemy cyfrovoi transformaciji osvity [Problems of digital transformation of Education]. *Ghumanitarnyj visnyk Zaporizkoji derzhavnoi inzhenernoji akademiji*, pp. 59–60. [in Ukrainian]
9. Tul'chinskij, G. L. (2017). TSifrovaya transformatsiya obrazovaniya: vyzovy vyshej shkole [Digital transformation of education: challenges to higher education]. *Filosofskie nauki*. № 6, pp. 121–136. [in Russian]
10. 10. Stokov, A. A. Digitalization of education: problems and prospects. *Vestnik of Minin University*. 2020. Vol. 8, no. 2. Pp. 15.
11. Zhelanov, D. V. (2019). Suttjevi problemy ta ryzyky suchasnoji vyshhoji osvity: norvezjkyj dosvid jikh zapobighannja ta rozv'jazannja [Significant problems and risks of modern higher education: Norwegian experience in preventing and solving them]. *Visnyk KrNU imeni Mykhajla Ostrohradskogho*. Vypusk 2 (115), pp. 56–61. [in Ukrainian]
12. Starichenko, B. E. (2020). Digitalization of Education: Realities and Problems. *In Pedagogical Education in Russia*. No. 4. Pp. 16–26.
13. “Pro zatverdzhennja Polozhennja pro porjadok realizaciji prava na akademichnu mobilnistj” [On approval of the regulation on the procedure for exercising the right to academic mobility]. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 12.08.2015 #579. [in Ukrainian]
14. “Pro opublikuvannja rezuljtativ dysertacij na zdobuttja naukovykh stupeniv doktora i kandydata nauk” [On publication of the results of dissertations for the degree of Doctor and candidate of Sciences]. Nakaz MONmolodjsport Ukrainy vid 17.10.2012 #1112. [in Ukrainian]
15. Kozubtsov, I. N. (2013). O vliyanii nauchnyh indeksiv tsitirovaniya na Natsional'nyu bezopasnost' i strategiyu razvitiya gosudarstva v sovremennoj nauchnoj kartine mira znaniy [On the impact of scientific citation indices on National security and the state development strategy in the modern scientific picture of the world of knowledge]. *Ghileja: naukovyj visnyk*. Vyp. 74 (7), pp. 230–232. [in Ukrainian]

16. Ukolova, N. V., Monakhov, S. V., Shikhanova, J. A. (2020). Technology transfer: genesis of development and modern ways of commercialization. *Business. Education. Law*. no. 3, pp. 25–30.

17. Solodova, E. A. (2012). *Novye modeli v sisteme obrazovaniya: Sinergeticheskij podhod* [New models in the education system: A synergetic approach] : uchebnoe posobie. Moskva : Knizhnyj dom "LIBRIKOM", 344 p. [in Russian]

18. Clynes, T. (2017). Peter Thiel thinks you should skip college, and he even pay your for your trouble. *Newsweek* magazine. URL: <https://www.newsweek.com/2017/03/03/peterthiel-fellowship-college-higher-education-559261.html>

19. Piz, A. (1992). *Yazyk telodvizhenij: kak chitat' mysli drugih lyudej po ih zhestam* [Body language: how to read other people's thoughts by their gestures]; [Per. s angl. N. E. Kotlyar]. Nizhnij Novgorod : Aj K'yu, 262 p. [in Russian]

Стаття надійшла 11.03.2022

КЛІПОВЕ МИСЛЕННЯ ЯК НАУКОВО-МЕТОДИЧНА ПРОБЛЕМА У ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ

Галина Корчова

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри професійної освіти

Київський національний університету будівництва і архітектури, Повітрофлотський просп., 31, м. Київ,
Україна, 03037, korchova@ukr.net;

ORCID: 0000-0002-9082-0146

У статті розглядається проблема кліпового мислення сучасних здобувачів професійної освіти, зазначено причини формування кліпового мислення у сучасних здобувачів освіти, розкрито основні характеристики кліпового мислення, виділено основні риси носіїв кліпового мислення, запропоновано конкретні педагогічні технології, методи та прийоми роботи на заняттях для здобувачів з кліповим мисленням. Розглянуто позитивні і негативні сторони кліпового мислення у здобувачів професійної освіти.

Причинами появи кліпового мислення є: збільшення отриманої інформації, зростання інформаційної швидкості, різноманітність і доступність інформації, збільшення багатозадачності.

У статті запропоновано розглядати поняття «кліпове мислення» як здатність людини сприймати навколишній світ за допомогою конкретного яскравого, дуже виразного образу.

Ключові слова: професійна освіта, мислення, кліпове мислення, цифрове покоління, інформаційне суспільство, педагогічні технології, методи і прийоми навчання.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ. Потребу в інформації на сучасному етапі розвитку суспільних відносин можна прирівнювати до вітальних потреб, тобто знання стають основою життєдіяльності особистості у сучасному інформаційному суспільстві, без них неможливо адекватно взаємодіяти з навколишнім середовищем – віртуальним та реальним (фізичним). Результати дослідження «Українське покоління Z: цінності та орієнтири» (Фонд ім. Фрідріха Еберта в Україні) засвідчують, що збільшується загальний рівень інформаційної залежності суспільства, пов'язаний водночас як з надмірною перенасиченістю контентом, так і з удосконаленням інформаційно-комунікаційних засобів та їхньою доступністю. Згідно з опитуванням 2015 року, яке охопило молодь віком 14–35 років, 67 % української молоді цілком або скоріше були задоволені своєю освітою, а незадоволених було 14 %. Як показало дослідження 201 у, задоволеними і дуже задоволеними своєю освітою було вже 72 %, проте лише 44 % молодих українців залишалися задоволеними якістю освіти в Україні загалом, і тільки третина вважала, що українська освіта відповідає потребам сучасного ринку праці. Оскільки освітній процес в умовах інформаційного суспільства «віртуалізувався», суб'єкти цього процесу змушені для налагодження ефективної комунікації, витрачати частину свого часу на перебування в мережі Інтернет. Серед найпопулярніших пристроїв, які

використовують досліджувані для доступу до мережі, є: стаціонарні ПК, ноутбуки, планшетні ПК та смартфони. У 2014 році користувачі надавали перевагу стаціонарним ПК та ноутбукам, які були доступні для використання більшості досліджуваних підліткового, юнацького та раннього дорослого віку. З 2018 року вже надаються переваги використанню мобільних пристроїв для користування мережею, які порівняно зі стаціонарними ПК завжди перебувають у зоні доступу, їх можна носити з собою та вони легко підключаються до мережі. Саме з глобальною інформатизацією суспільства та прискоренням темпу обміну інформацією, яка вселяє впевненість студента у швидкому вирішенні складного для нього завдання, пов'язують яскравість прояву його «кліповості» [1].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ. Кліпове мислення сучасних здобувачів професійної освіти з'явилося внаслідок розвитку інформаційного суспільства, у якому від юнаків і дівчат потрібна інформаційна активність і участь у постійній інформаційній взаємодії. Інтернет, комп'ютерні ігри та телебачення постійно впливають на молоде покоління. У результаті у більшості молодих людей формується і розвивається кліпове мислення. На думку Г. Гича, кліпове мислення – це вектор у розвитку відносин людини з інформацією, яка виникла не вчора і зникне не завтра [2].

Сьогодні в науковій літературі накопичено достатній досвід щодо дослідження кліпового мислення особистості в сучасних умовах інформаційного суспільства. Але в науковому співтоваристві ще немає єдиної чіткої та виваженої позиції щодо сутності, позитивних і негативних рис цього поняття, змін і трансформацій у психіці людини, які викликає сучасний медіапростір.

У Європі та США на даний феномен звернули увагу ще в середині минулого століття. Вперше термін «кліпове» мислення (англ. clip – «відрізок») був використаний англійським футурологом Е. Тоффлером. Характеризуючи сучасну культуру отримання будь-якої інформації, він наголошує на її фрагментарності та різномірності. Саме ці особливості подання матеріалу формують фрагментарні та поверхневі знання. Е. Тоффлер розглядає кліпову культуру як складову загальної інформаційної культури майбутнього, засновану на нескінченному мерехтінні інформаційних відрізків і комфортною для людей відповідного менталітету [3].

М. Маклюен у своїй книзі, що вийшла в 1964 р., в період створення комп'ютерів третього покоління (1959–1971 рр.), він писав, що «суспільство, перебуваючи на сучасному етапі розвитку, трансформується в «електронне суспільство» або «глобальне село» і задає за допомогою електронних засобів комунікації, багатовимірне сприйняття світу. Розвиток електронних засобів комунікації повертає людське мислення до дотекстової епохи, і лінійна послідовність знаків перестає бути базою культури [4].

Також французький соціолог А. Моля в роботі «Соціодинаміка культури» (1967 р.) зазначив характерні риси культури (названої ним мозаїчною) в постіндустріальному суспільстві [5].

Джеймс Мартин, який передбачив появу Інтернету, поділяв людей на два типи. Перший тип – «людина книги» – отримує інформацію з книг, має «тривале» мислення. Головна відмінна риса таких людей – великий обсяг уваги і здатність до аналізу інформації. Другий тип – «люди екрану» – наділені кліповою свідомістю, вони кардинально відрізняються від першого типу. Окрім того, сучасна молодь переважно є візуалами за типом сприйняття інформації, оскільки бачить світ скрізь призму «картинок», відеозображень, це й формує нові вимоги до методики надання інформації в навчальному процесі [6].

До вивчення проблеми кліпового мислення зверталися чимало сучасних дослідників, а саме:

Ф. Гіренок, Г. Гич, С. Докука, С. Жукова, М. Літвінова, Т. Семеновських, С. Сімакова, Т. Удовіцька, К. Фрумкін та ін.

Існує наукова думка, що одночасне сприйняття інформації з кількох джерел, а також спроби виконувати одночасно кілька дій, що характеризуються дослідниками як феномен багатозадачності, призводять до виникнення труднощів у проведенні аналізу і синтезу, порівняння й узагальнення. Люди, які практикують багатозадачність, не здатні зосередитися на виконанні однієї дії та намагаються виконувати кілька завдань, навіть у тих випадках, коли це непотрібно. У зв'язку з цим можна говорити про позитивний аспект кліпового мислення, який полягає у тому, що кліпове мислення спонукає до динамізму пізнавальної діяльності та креативності. Водночас це говорить і про те, що без розвитку аналітичного і логічного мислення, здатностей до аналізу і синтезу, до порівняння й узагальнення, обґрунтування власних думок та передача їх іншим людям неможливі. Отже, сучасна система освіти має забезпечувати формування названих здатностей, а тому в її методологічних основах та інноваційних технологіях мають знайти відображення реалії інформаційного суспільства [1].

Американський професор Л. Розен вважає, що молоді люди здатні паралельно виконувати до семи завдань: набирати смс-повідомлення, спілкуватися по скайпу, перевіряти електронну пошту тощо, і все це робити під час перегляду телепрограм. Проте платою за багатозадачність стає неувважність, гіперактивність, віддання переваги візуальним символам замість заглиблення в текст [7, с. 104]. К. Фрумкін вважає, що всі ці обставини породили особливу культуру сприйняття інформації, яку науковець називає альтернативною (від «альтернація» – «чергування»). Ключовими рисами альтернативної культури є висока фрагментарність інформаційного потоку, велика кількість і різномірність інформації, що сприймається, а також навички швидкого перемикавання з одних фрагментів на інші [8].

Так, згідно з даними доповіді «Епоха даних – 2025», глобальний обсяг даних, тобто інформації, в світі до 2025 р. досягне 163 зеттабайт (1021 байт), також, «згідно з прогнозом IDC (International Data Corporation), якщо зараз на кожну людину припадає менше однієї одиниці техніки з вбудованими джерелами даних, «живлять» глобальну інформаційну екосистему, то через десять років цей показник виросте до чотирьох одиниць».

Однозначного визначення кліпового мислення немає, але якщо узагальнити ряд підходів з цього питання, то можна зробити наступний висновок: «кліпове мислення» – це процес відображення безлічі різноманітних властивостей об'єктів, без урахування зв'язків між ними, що характеризується фрагментарністю інформаційного потоку, алогічністю, повною різноманітністю інформації, що надходить, високою швидкістю перемикавання між частинами, фрагментами інформації, відсутністю цілісної картини сприйняття навколишнього світу. Тому під терміном «кліпове мислення» розуміється звичка сприймати інформацію за допомогою короткого, яскравого, дуже виразного образу [9].

Таке мислення характеризується поверховістю, образністю, інтуїтивністю, на відміну від традиційного понятійного мислення, в арсеналі якого цілий арсенал розумових операцій: аналіз, синтез, порівняння, абстрагування, узагальнення, систематизація та класифікація інформації. Понятійне мислення включає в себе причинно-наслідкові зв'язки, міркування за планом «теза – обґрунтування – висновок». Чим більше розвинене у здобувача освіти понятійне мислення, тим більшою мірою він є успішною людиною, тим успішніше він впорається з життєвими завданнями. У сучасного учня відбувається перехід від понятійного мислення до кліпового мислення, так як на людину діє великий потік інформації, і йому цікавіше переглянути 10 зображень з текстом в одне речення, ніж прочитати 10 повних текстів.

На думку вчених, кліпове мислення не притаманне людині від народження. Воно набувається в залежності від способу споживання і аналізу інформації, що надходить. Специфікою сучасного суспільства є передача інформації за допомогою рухомого зображення, яке супроводжується звуком.

Отже, сутність кліпового мислення полягає у тому, що воно вміє швидко переключатися між розрізненими смисловими фрагментами. Причинами появи кліпового мислення є: збільшення отриманої інформації, зростання інформаційної швидкості, різноманітність і доступність інформації, збільшення багатозадачності.

Очевидно, традиційні методи викладання викликають серйозні труднощі для здобувачів професійної освіти з відмінним від текстового типом сприйняття, кількість яких з кожним роком стрімко зростає. Дослідників, які приділяють увагу цій проблемі, можна умовно поділити на дві течії – консервативну і прогресивну. Кон-

серватори виступають за утримання сприйняття та свідомості особистості в межах когнітивного стилю, який орієнтований на лінійний текст. Тому питання тут полягає, скоріше всього, у співвідношенні здатності здобувача професійної освіти до аналізу і встановлення причинно-наслідкових зв'язків з умінням оперативно обробляти інформацію. У контексті цього більш прогресивною постає не критичність у сприйнятті нового типу мислення, а конструювання освітнього процесу відповідно до нових вимог, інтегрування до нього інноваційних інструментів та методів, розподілення заняття на логічні блоки для покращення засвоєння навчального матеріалу. Недалеко глядяно зводити специфіку та сутнісні характеристики кліпового мислення тільки до того, що воно призводить до розсіювання, важкості концентрації уваги, відсутності аналітичного компоненту тощо. Кліповий характер отримання інформації, безумовно, вимагає нового характеру її обробки та породжує новий тип мислення – концептуальний, оскільки очевидно, що функції аналізу та синтезу нікуди не пропадають, а переключаються (переходять) на новий, більш вищий рівень узагальнення інформації та виявлення смислів, а свідомість, яка, у свою чергу, розвивається у відповідному контексті кліпового інформаційного середовища, не може не продукувати евристичних рішень тих чи інших завдань як у повсякденній діяльності, так і в професійній [1]. Тому доцільно зробити заняття зовні привабливим – це може бути інтерактивна форма, цікаві завдання з практичним результатом тощо. Важливу роль відіграє створення емоційного і психологічного комфорту у процесі подання навчального матеріалу. Рекомендується активне залучення студентів до виконання завдань дослідницького характеру з обов'язковою презентацією результатів. Співпраця викладача та студента в аудиторній та позааудиторній роботі, високопрофесійний рівень викладання з використанням інноваційних методів навчання складають резерв для підвищення мотивації студентів до навчання. Кліповий спосіб роботи з інформацією додає динамізму пізнавальній навчальній діяльності, що дозволяє в умовах зростання обсягу навчального матеріалу динамічно виконувати необхідні навчальні завдання, базуючись на широкому використанні принципу візуалізації навчальної інформації, на ідеї структурування навчального матеріалу та його фрагментарного подання тощо.

Аналіз наукових джерел свідчить, що кліпове мислення має позитивні і негативні сторони. До

негативних сторін кліпового мислення можна віднести наступне:

- у нескінченному потоці інформації складно відокремити важливе від непотрібного, людина вбирає всю інформацію без розбору, забуваючи про фільтрацію;
- відбувається зниження концентрації уваги на конкретній, важкій для сприйняття інформації, постійно хочеться відволіктися на цікавий паблік, погортати стрічку новин;
- відбувається зниження критичного аналізу основної інформації;
- маніпулятивний характер інформації через яскраві картинки і гучні рекламні слогани.

Головною особливістю кліпового мислення є те, що воно ґрунтується тільки на поверхневій інформації. Згідно з дослідженнями вчених люди стали менше читати паперових книг. Звичайну книгу замінили на цифрову або аудіокнигу. З одного боку спростили формат книги і зробили його більш доступним і зручним. З іншого боку людина перестала тактильно відчувати книгу, відмовившись від спокійної і тихої атмосфери, в якій найкраще засвоюються знання.

До плюсів кліпового мислення можна віднести:

- кліпове мислення інтелектуально розвантажує. Звучить дивно, але мозок не може постійно концентруватися на складній інформації. Йому потрібно відпочити і перезавантажитися;
- відбувається швидка реакція на непередбачувані ситуації, в яких необхідно прийняти рішення тут і зараз. У такий момент на допомогу приходить кліпове мислення.

З одного боку, у сучасному потоці інформації кліпове мислення забезпечує захист мозку від інформаційних перевантажень. Коли здобувачі освіти вміють швидко переключатися з одного джерела на інший, то вони не перевантажують мозок непотрібною інформацією. Швидка реакція дозволяє легко включатися у роботу, опановувати новий матеріал, ефективніше реагувати і підлаштовуватися під будь-які зміни. Багато-задачність дозволяє людині одночасно слухати музику, спілкуватися в чаті, бродити у мережі, редагувати фотографії і при цьому робити уроки. З іншого боку, педагоги роблять акцент на тому, що людей з кліповим мисленням важко, а часом неможливо вчити у звичному розумінні цього слова. Викладачі відзначають наступні проблеми, пов'язані з кліповим мисленням у здобувачів освіти: 1. Сучасна молодь не бажає вивчати першоджерела. Ті, що навчаються, не можуть

самостійно підготувати реферат, курсову роботу з гуманітарної або спеціальної дисципліни. 2. Молоді люди з кліповим мисленням не вміють працювати самостійно. 3. У людей з кліповим мисленням різко знижується коефіцієнт засвоєння знань. Отримана раніше інформація не затримується в пам'яті. 4. Людина з кліповим мисленням не може успішно навчатися і робити успішну кар'єру. Такі люди є аутсайдерами в навчанні і кар'єрі. 5. Рівень критичної свідомості людей з кліповим мисленням низький. Ці люди програмовані. Вони сприйнятливі до чудес, таємниць, містики. 6. У молоді з кліповим мисленням спотворюються морально-етичні цінності: спостерігається ослаблення почуття відповідальності, совісті і честі; відсутнє почуття співпереживання (смерть не викликає жалю); люди стають цинічними [10].

Які педагогічні технології, методи та прийоми навчання, що існують на сьогодні, можуть бути використані у повсякденній освітній практиці професійної освіти?

Перерахуємо ті методи та прийоми навчання, які себе зарекомендували у викладацькій практиці: проєктна діяльність; «перевернутий клас»; дискусії; мозковий штурм; дебати; форуми; круглі столи; семінари-дискусії (групова дискусія); метод кейсів (ситуаційний аналіз); інтелектуальні карти, ментальні картки (mindmapping); кошик ідей; схеми-візуалізатори; синквейни; прийом «Фішбоун», або «Риб'ячий скелет»; робота із історичними джерелами з акцентом на візуальні джерела (малюнки, плакати, фотографії, карти, кінодокументи).

Також хотілося б звернути увагу на освітні технології, прийоми та методи, які є найбільш вдалим для здобувачів освіти із кліповим мисленням.

Одним із методів роботи з інтернет-джерелами є технологія «веб-квест». Веб-квест – це проблемне завдання з елементами рольової гри, коли використовуються інформаційні ресурси Інтернету. Тематика веб-квестів може бути найрізноманітнішою, проблемні завдання можуть відрізнятися ступенем складності. Веб-квести можуть бути як командними, груповими, так і індивідуальними.

Результати виконання веб-квесту, залежно від матеріалу, що вивчається, можуть бути представлені у вигляді усного виступу, комп'ютерної презентації, есе, веб-сторінки, бази даних, наукового дослідження, документа, інтерактивного курсу, інтерактивної книги [11].

Цікавою та перспективною, на наш погляд, є технологія скрайбінгу. Це створення невеликих зрозумілих малюнків, які роблять лекцію чи презентацію зрозумілішими. Увесь лекційний матеріал може бути розміщений на одному аркуші завдяки візуалізації отриманої інформації, для цього потрібна поверхня та кольорові маркери, фломастери або олівці, для відеоскрайбу потрібен комп'ютер (гаджет), камера та програми для монтування відео.

Головна складність для лектора – це донести до аудиторії ключову думку, основну ідею, не втратити зміст лекції, оповідання, бесіди, тому важливо придумати та обдумати заздалегідь ідею, підготувати сценарій того, що ви говоритимете, та спробувати відмалювати майбутній скрайб.

Хотілося б відзначити і таку технологію, як інфографіка, суть якої – у візуалізації даних чи ідей з метою донесення складної інформації до аудиторії швидким та зрозумілим способом. Також інфографіка – це графічний спосіб подання різноманітної інформації. Як і при створенні скрайбу, інфографіка вчить критично мислити, аналізувати та відбирати зміст інформації.

Найкращим способом при створенні інфографіки є розбивка аудиторії на мікрогрупи, кожна з яких отримує час на вивчення інформації на тему або проблему заняття з метою інфографіки.

Не можна залишити без уваги технологію, яка торкнулася сучасної освіти, гейміфікація (ігрова технологія). Гейміфікація як технологія тісно пов'язана із застосуванням ігрових форм та методів навчання. Особливо важливо у нашому контексті міркувань відзначити потенціал комп'ютерних ігор. Комп'ютерна гра полегшує засвоєння матеріалу через входження в образ.

ВИСНОВОК. Розглянувши у статті феномен кліпового мислення здобувачів професійної освіти, а також різноманітні інноваційні педагогічні прийоми, методи та технології, можна констатувати про подальший розвиток системи професійної освіти.

Наш соціум, наша система освіти переживає складний період трансформації та переходу від індустріальної формації до постіндустріальної (інформаційної) стадії розвитку суспільства, від суспільства, побудованого за

принципом конвеєра Г. Форда, до персоналізованого, індивідуалізованого типу суспільства. На сьогоднішній день є чимало різноманітних інноваційних педагогічних прийомів, методів та технологій, які можуть успішно застосовуватися у навчанні здобувачів з кліповим мисленням. У статті ми торкнулися тих технологій, прийомів та методів навчання, які мають найбільший потенціал для розвитку та застосування в освітній практиці XXI століття.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика проведення навчальних занять в умовах дистанційного навчання : навч. посіб. / Ю. С. Красильник, Г. Л. Корчова, М. В. Руденко. Київ : КНУБА, 2021. С. 45–46.
2. Гич Г. М. «Кліпове» мислення молоді: друг чи ворог навчання? // *Наукові праці*. Вип. 257. Т. 269. Педагогіка, 2016. С. 38–42.
3. Тоффлер Е. Шок майбутнього / Пер. з англ. М., 2002. С. 11.
4. Маклюен Г. М. Розуміння Медіа: Зовнішні розширення людини / Пер. з англ. В. Ніколаєва. 2-е вид. М., 2007. 464 с.
5. Моль А. Соціодинаміка культури. Електронний ресурс. Режим доступу: http://yanko.lib.ru/books/cultur/mol_sociodinamika_cult-a.htm
6. Пашенко Л. С. Ситуационная задача как метод активного обучения и развития профессиональной компетентности / Л. С. Пашенко, Н. В. Порошенко, В. В. Запеліна и др. // *International journal of experimental education*. 2014. № 4. С. 108–110.
7. Rozen L. Me, My Space and I: Parenting the Net Generation. N. Y., 2007. 258 p.
8. Фрумкин К. Г. Откуда исходит угроза книге // *Знамя*. 2010. 56 № 9. URL: <http://magazinez.russ.ru/znamia/2010/9>
9. Соболева С. М. Кліпове мислення як соціально-психологічний феномен та його роль у навчально-пізнавальній діяльності студентів // *Теорія і практика сучасної психології*. № 3. Т. 2. 2019. С. 86–90.
10. Шестакова М. А. Клиповое мышление – феномен современности. URL: www.informio.ru/publications/id3425/Klipovoe-myshlenie-fenomen-sovremennosti
11. Корчова Г. Л., Скриник М. В., Скриник Л. М. Освітній WEB-квест як нова інтернет-технологія з організації самостійної роботи здобувачів вищої освіти. *Інноваційно-технологічні шляхи розвитку агропромислового комплексу України* : зб. матеріалів Всеук. наук.-практ. конф. Ніжин, 2020. С. 90–93.

CLIP THINKING AS SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL PROBLEM IN PROFESSIONAL EDUCATION

Halyna Korchova

PhD in Pedagogics, Associate Professor,
Associate Professor at the Professional Education Department

Kyiv National University of Construction and Architecture, 31 Povitroflotskyi Avenue, Kyiv, Ukraine, 03037,
korchova@ukr.net;

ORCID: 0000-0002-9082-0146

The Article considers the problem of clip thinking of modern students obtaining professional education, underlines the reasons of formation of clip thinking of modern students obtaining professional education, reveals basic characteristics of clip thinking, highlights main features of clip thinking bearers, offers precise methods and tools of activity during educational sessions for students with clip thinking and examines positive and negative sides of clip thinking in that category of students as well.

While the scientific literature has gathered enough experience regarding exploring clip thinking of individual within modern conditions of informational society, the scientific community has not yet developed unified, precise and balanced position about essence, positive and negative features of that issue, about changes and transformations in human psychics caused by modern media space.

After examining and aggregating scientific sources and approaches to that issue the conclusion could be made as follows: “clip thinking” is a process of reflecting various diverse properties of objects, without taking into account connections between them, that is characterized by fragmentation of informational flow, illogicality, full heterogeneity of incoming information, high speed of switching between parts and fragments of information and lack of comprehensive perception of surrounding world as well.

Hence, the definition “clip thinking” is considered as a habit to perceive information through short, bright and very expressive image.

The essence of clip thinking is that it can quickly switch between disparate semantic fragments. The reasons for the emergence of clip thinking are: increasing of the information received, increasing of information speed, diversity and availability of information, increasing of multitasking.

Effective educational methods and techniques that have proven themselves in teaching practice with students of professional education include: project activity, discussions, brainstorming, debate, forums, round tables, discussion seminars (group discussion); case method (situational analysis); smart cards, mental cards (mind mapping); basket of ideas; cinquain; Fishbone reception; web-quests; scribing technology, etc.

Key words: professional education, thinking, clip thinking, digital generation, informational society, pedagogic technologies, methods and tools of education.

REFERENCES

1. The method of carrying out the initial studies to take in the minds of distance learning : navch. posib. / Yu. S. Krasilnik, G. L. Korchova, M. V. Rudenko. Kiev : KNUBA, 2021. P. 45–46.
2. Gich, G. M. “Klipove” young people’s thoughts: what friend is the enemy of education? // Science practices. Vip. 257. V. 269. Pedagogika, 2016. P. 38–42.
3. Toffler, E. Shock of the future / Per. from English. M., 2002. S. 11.
4. McLuen, G. M. Rozuminnya Media: Zovnishni razshirennya lyudina / Per. from English V. Nikolaev. 2nd view. M., 2007. 464 p.
5. Mol, A. Sociodynamics of culture. Electronic resource. Access mode: http://yanko.lib.ru/books/cultur/mol_sociodinamika_cult-a.htm (date of entry: 21.02.2020).
6. Pashchenko, L. S. Situational task as a method of active learning and development of professional competence / L. S. Pashchenko, N. V. Porodenko, V. V. Zapevina et al. // International journal of experimental education. 2014. No. 4. P. 108–110.
7. Rozen, L. Me, My Space and I: Parenting the Net Generation. N. Y., 2007. 258 p.
8. Frumkin, K. G. Where does the threat to the book come from // Znamya. 2010. 56. No. 9. URL: <http://magazinez.russ.ru/znamia/2010/9>
9. Soboleva, S. M. Klipov’s idea as a social and psychological phenomenon and its role in the initial and educational activities of students // Theory and practice of modern psychology. No. 3. Vol. 2. 2019. S. 86–90.
10. Shestakova, M. A. Clip thinking is a phenomenon of modernity. URL: www.informio.ru/publications/id3425/Klipovoe-myshlenie-phenomen-sovremennosti
11. Korchova, G. L., Skrinik, M. V., Skrinik, L. M. Educational WEB-quest as a new Internet technology for the organization of self-supporting work in health education. Innovative and technological paths for the development of the agro-industrial complex of Ukraine : sb. Materials of the All-Ukrainian. sci.-pract. conf. Nizhin, 2020. – S. 90–93.

Стаття надійшла 21.03.2022

РОЗВИТОК УМІНЬ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ МАЙБУТНІХ ПЕДАГОГІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

Юрій Красильник

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри професійної освіти

Київський національний університет будівництва та архітектури, просп. Повітрофлотський, 31, Київ, Україна,
03037, kyursem@ukr.net;

ORCID: 0000-0003-0358-0066

У статті обґрунтовано психолого-педагогічні засади та технологію розвитку умінь візуалізації навчальної інформації майбутніх педагогів професійної освіти в умовах закладу вищої освіти. Встановлено зміст поняття візуалізації навчальної інформації як сполучення визначеного способу забезпечення досягнення дидактичної мети, яка детермінує характер візуальної моделі об'єктів та процесів, що вивчаються, засобів візуалізації, методико-технологічних конструктів їх застосування, специфіку дидактичної діяльності викладача відповідно до індивідуально-психологічних особливостей здобувача вищої освіти та потреб активізації його навчально-пізнавальної діяльності задля сприйняття, розуміння навчальної інформації та формування на її основі означених компетентностей. Розроблено характеристику умінь майбутніх педагогів професійної освіти щодо візуалізації навчальної інформації, в яких втілюються їх психологічні, технічні, технологічні якості та дидактичні компетентності, а саме: уміння подання навчальної інформації, уміння трансформації навчальної інформації, уміння технологізувати освітню діяльність. Встановлено, що інформаційні та комунікаційні технології дозволяють активізувати навчально-пізнавальну діяльність здобувачів вищої освіти на основі посилення наочності навчальної інформації та поєднання логічного і образного способів її засвоєння. Схарактеризована технологія розвитку умінь візуалізації навчальної інформації майбутніх педагогів професійної освіти як сукупності складових: концептуальної основи (методологічні та теоретико-методичні засади візуалізації; мета, завдання, наукові підходи та принципи, що визначають техніко-технологічні аспекти візуалізації навчальної інформації), суб'єктів освітнього процесу (методика відбору продуктивних форм, методів та засобів, адекватних умовам суб'єктивізації процесу візуалізації; організація педагогічної взаємодії в системі «викладачі-здобувачі вищої освіти-розробники інформаційних освітніх ресурсів-працівники методичної служби-керівники закладів вищої освіти»), технологічного процесу візуалізації навчальної інформації (вибір продуктивних форм, методів, засобів навчання, а також відповідних їм форм, методів, засобів та прийомів візуалізації навчальної інформації; проєктування моделей візуальної навчальної інформації у різних видах навчальних занять, які реалізуються в умовах інформаційних технологій та доповнюються роботою студентів за індивідуальними освітніми траєкторіями, методиками інтерактивного навчання).

Ключові слова: візуалізація, візуалізація навчальної інформації, функції візуалізації, уміння візуалізації навчальної інформації, засоби візуалізації навчальної інформації, технологія розвитку умінь візуалізації навчальної інформації.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Актуальність вивчення проблеми розвитку умінь візуалізації навчальної інформації майбутніх педагогів професійної освіти означається їхніми потребами в інтелектуальному, емоційному та творчому відображенні результатів їхньої навчально-пізнавальної діяльності, які детермінуються зростанням використання цифрових засобів навчання, удосконаленням майстерності науково-педагогічних працівників щодо подання навчального матеріалу з врахуванням особистісного характеру сприйняття інформації суб'єктами навчання. Д. Безуглий [1, с. 7] підкреслює, що права півкуля «відповідає» за образне мислення, за цілісне сприйняття, за сприйняття просторових форм, а ліва – за мову, логіку, роботу зі знаками. В абсолютній більшості людей права півкуля вклю-

чається в роботу першою при ознайомленні з новою інформацією. Тому для успішного освоєння знань доцільним є посилення наочно-образної складової матеріалу, що представляється як протипага (в деяких випадках) або необхідна «опора» абстрактно-логічної компоненти.

Такі умови диктують необхідність пошуку освітніх стратегій та інструментів підтримки продуктивної навчально-пізнавальної діяльності здобувачів вищої освіти, інноваційних технологій візуалізації навчальної інформації, презентації суб'єктами освітнього процесу рішень професійних (квазіпрофесійних) завдань, інтерпретування фактів і об'єктів з використанням візуалізації, оперування візуальними образами та синтезу нових образів тощо. Л. Білоусова та Н. Житеньова [2] звертають увагу на те,

що оскільки потенціал технологій візуалізації в освітньому процесі є визнаним, проте їх використання є досить обмежене з точки зору реалізації дидактичних цілей і переважно спрямовується на емоційність викладу навчального матеріалу. Тому проектування та реалізація технологій візуалізації з метою ефективного досягнення освітніх цілей потребує проведення відповідних досліджень, які інтегрують потенціал методологічно-концептуальних та теоретико-методичних засад вищої освіти з сучасними інформаційними технологіями.

Підготовку майбутніх педагогів професійної освіти до діяльності досліджено в працях В. Андрущенко, І. Богданова, О. Волошенко, Н. Гузій, Л. Кадченко, С. Коновець, Л. Михайлова, Н. Ничкало, Р. Хмелюк та ін. Зарубіжний досвід професійної підготовки педагогів, інтегрування системи вищої освіти в європейський і світовий освітній простір розглянули науковці Н. Авшенюк, Л. Дяченко, К. Котун, М. Марусинець, О. Огієнко, Н. Постригач та ін. Дослідники В. Биков, А. Гуржій, М. Жалдак, Н. Морзе, В. Осадчий, О. Спірін та ін. розробили дієві шляхи модернізації освіти відповідно до потреб інформаційного суспільства. Теоретичним основам візуалізації в освітньому середовищі присвячено праці як вітчизняних, так і зарубіжних науковців (К. Верберт, М. Друшляк, Е. Дюваль, Н. Житеньова, В. Заболотний, Н. Ляшова, В. Мовчан, С. Симоненко, А. Сиротюк, Л. Тимчук, Я. Топольник, Г. Федорук, Р. Фрідхоф, К. Шатрі та ін.). Окремі аспекти використання візуалізації в освітньому процесі висвітлено у працях Р. Арнхейма, Г. Гарднера, А. Гуржія, К. Фрумкіна, М. Холодної та ін. (психологічні підходи); В. Бикова, С. Карда, М. Ліма, Дж. Маккінлі, Н. Морзе, В. Осадчого, Е. Тафті та ін. (принципи візуалізації інформації); О. Бабич, М. Друшляк, К. Осадчої, Т. Сороки та ін. (інноваційні підходи проектування технологій візуалізації навчальної інформації); Л. Кордуби, А. Ткачової, О. Шилової та ін. (аналіз функціональних можливостей дидактичних візуальних засобів); Д. Безуглого, М. Друшляк, О. Мічуріної та ін. (проблеми підготовки педагогів до використання візуалізації в освітньому процесі); І. Косенко, М. Орешко, Б. Стариченко, С. Шушкевич та ін. (створення сучасних способів візуалізації навчальної інформації та методик їх застосування у викладанні навчальних дисциплін). Окрім того, Г. Брянцевою та О. Брянцевим [3] розглянуто акмеологічний підхід в педагогічній освіті, аналізуються

його перспективи щодо формування у майбутніх учителів умінь візуалізувати навчальний матеріал під час проходження ними виробничої педагогічної практики зі спеціальності. В. Логвіненко [5] систематизовано теоретико-методичні та практичні підходи щодо використання інфографіки для візуалізації навчальної інформації. Висвітленню дидактичних функцій технологій візуалізації, як інструмента інтенсифікації навчального процесу, приділена увага Л. Білоусової та Н. Житеньової [2].

Аналіз змісту означених праць засвідчує цілеспрямовані пошуки науковцями шляхів удосконалення освітнього процесу, одним із важливих завдань якого є підготовка майбутніх педагогів професійної освіти. Саме той факт, що у загальному огляді наукових досліджень не виявлено робіт, які спеціально присвячені проблемам розвитку умінь візуалізації навчальної інформації майбутніх педагогів професійної освіти, обумовив можливість просуватися саме в цьому напрямі. Вивчення теорії, узагальнення освітньої практики надали можливість виявити низку суперечностей, а саме: між сучасними вимогами до підготовки майбутнього педагога професійної освіти та якістю формування і розвитку його професійної компетентності, в т. ч. умінь візуалізації навчальної інформації, недостатнім інформаційно-технологічним забезпеченням, недосконалістю педагогічних умов, необхідних для продуктивного протікання цього процесу.

Тому метою цієї статті є обґрунтування психолого-педагогічних засад та технологій розвитку умінь візуалізації навчальної інформації майбутніх педагогів професійної освіти в умовах закладу вищої освіти (ЗВО).

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Термін «візуалізація» (від лат. *visualis* – зоровий) трактується як одержання (подання) видимого зображення яких-небудь предметів, явищ, процесів, недоступних для безпосереднього спостереження [4, с. 186]. А. Юрченко [12, с. 385] виокремлює функціональну характеристику візуалізації, яка трансформує навчальну інформацію у візуальну форму, що підвищує продуктивність її засвоєння. О. Семеніхіна та А. Юрченко [8] трактують візуалізацію як специфічну категорію дидактики, яка має більш складну структуру, ніж традиційне поняття «наочність», оскільки вона додатково включає систему дій викладача з конструювання образу предметів чи явищ, які вивчаються. В. Щербатюк [11, с. 96] розглядає візуалізацію як унао-

чення, створення умов для візуального спостереження; як метод подання інформації у вигляді оптичного зображення (наприклад, у вигляді малюнків і фотографій, графіків, діаграм, структурних схем, таблиць, карт і т. д.).

Все більшого значення в ході підготовки майбутніх педагогів професійної освіти набуває формування візуального мислення як основи умінь щодо візуалізації навчальної інформації. С. Симоненко [9, с. 39] розглядає візуальне мислення як вид розумової діяльності; підкреслює, що наочні образи мають величезну інформаційну ємність, в якій є місце просторово-часовим, динамічним, колірним і фігуративним характеристикам предметів; в образах відбиваються не тільки фундаментальні перцептивні категорії, але і відношення між ними, як у рамках однієї категорії, так і інтермодальні відношення. Порівняно зі слуховими і руховими образами вони характеризуються суб'єктивною симультанністю, що дозволяє миттєво «схоплювати» відношення між елементами реальної або уявної ситуації. На думку Н. Ляшової [6, с. 38–39], візуальне мислення допомагає аналізувати, класифікувати, систематизувати і творчо інтерпретувати інформацію, це – найвищий рівень розвитку наочних видів мисленнєвої діяльності, що відображає зв'язки й відношення об'єктивної реальності за допомогою різних форм візуального кодування на метавербальному рівні.

Аналіз психолого-педагогічних джерел [2; 3; 6; 11; 12] уможливив визначення змісту поняття візуалізації навчальної інформації як сполучення визначеного способу забезпечення досягнення дидактичної мети, яка детермінує характер візуальної моделі об'єктів та процесів, що вивчаються, засобів візуалізації, методико-технологічних конструктів їх застосування, специфіку дидактичної діяльності викладача відповідно до індивідуально-психологічних особливостей здобувача вищої освіти та можливостей активізації його навчально-пізнавальної діяльності задля сприйняття, розуміння навчальної інформації та формування на її основі означених компетентностей. Динамічний розвиток інформаційних технологій детермінує широке застосування відповідного інструментарію для візуалізації навчальної інформації.

В. Щербатюк [11, с. 97] розглядає у сучасній практиці використання як традиційних (діаграми, графіки, схеми, таблиці тощо), так й інноваційних (стратегічні карти, інфографіка, презентації, скрайбінг, кроссенс тощо) засобів візуалізації.

У цьому контексті викладачі Київського національного університету будівництва і архітектури використовують різноманітні форми, методи, прийоми та засоби візуалізації на усіх етапах подання навчального матеріалу: лекційних, семінарських, практичних та лабораторних заняттях для вивчення теоретичних, методологічних, методичних та практичних аспектів змісту освіти. Зокрема, тренажери, інтелект-карти, інтерактивні підручники, буктрейлери, інфографіку, технологію таймлайн тощо.

О. Медведовська та В. Яценко [7] констатують, що візуалізація навчального матеріалу допомагає здобувачам освіти в його засвоєнні, роблячи процес отримання нових знань більш ефективним, а подання навчальної інформації у візуальній формі спрощує засвоєння нового матеріалу, робить його більш систематизованим. Окрім того, науковці вбачають у лавиноподібному потоку інформації причину формування у молоді «мозаїчного» мислення та розглядають питання про актуальність методу когнітивної візуалізації навчальної інформації. У зв'язку з широким впровадженням хмарних обчислень в процес навчання авторами пропонується для розгляду хмарний сервіс MS Sway, який дозволяє використовувати когнітивно-візуальний підхід до створення презентацій.

І. Шостак [10, с. 181] вирізняє основні функції візуалізації, а саме – ілюстративну та когнітивну. Ілюстративна функція реалізується через подання навчальної інформації у вигляді графічних, анімаційних, аудіо- і відео ілюстрацій. Когнітивна функція генерується в логіко-пізнавальних процедурах сприйняття та осмислення навчальної інформації здобувачами вищої освіти, синтезування та оцінювання на цій основі знань, навиків, умінь, формування і розвиток відповідних компетентностей за допомогою певних моделей об'єктів і процесів.

Результати проведеного аналізу праць [1; 5; 7; 8; 11] дозволили нам виокремити характеристики умінь майбутніх педагогів професійної освіти щодо візуалізації навчальної інформації, в яких втілюються їх психологічні, технічні, технологічні якості та дидактичні компетентності, а саме: уміння подання навчальної інформації (відображати та передавати інформацію в текстовому, графічному, звуковому, відео- та анімаційному форматі за допомогою електронних освітніх ресурсів; пошуку актуальної інформації; засвоювати, закріплювати знання та формувати відповідні компетентності; оцінювати рівень набутих

компетентностей, визначених освітньою програмою; організовувати педагогічне спілкування), уміння трансформації навчальної інформації (підготовки, редагування та обробки навчальної, навчально-методичної, наукової інформації; зберігати та резервувати навчальну інформацію; систематизації навчальної інформації; поширення навчальної інформації; забезпечувати доступ до інформації з використанням різних електронних баз даних та технологій), уміння технологізувати освітню діяльність (передавати навчальну інформацію одночасно значній кількості здобувачів освіти; здійснювати асинхронний обмін навчальною інформацією (текстовий, графічний, звуковий) у педагогічній взаємодії; організовувати аудиторну та позааудиторну роботу, консультації, заходи педагогічного контролю; забезпечувати синхронну та асинхронну комунікацію у форматі відеоконференцій; організувати діалогічне та полілогічне обговорення запропонованої навчальної теми; проводити освітні експерименти з використання засобів візуалізації; здійснювати інноваційну діяльність у сфері проєктування засобів візуалізації навчальної інформації).

Результати наукових досліджень [1; 2; 3; 5; 6; 7; 9; 10; 11] уможливають висновок про те, що інформаційні та комунікаційні технології слугують ефективним механізмом модернізації освітнього процесу і відкривають можливості для візуалізації навчальної інформації, що дозволяє активізувати діяльність здобувачів вищої освіти на основі посилення наочності навчальної інформації та поєднання логічного і образного способів її засвоєння. На цій основі технологія розвитку умінь візуалізації навчальної інформації майбутніх педагогів професійної освіти визначається нами як сукупність складових: концептуальної основи (методологічні та теоретико-методичні засади візуалізації; мета, завдання, наукові підходи та принципи, що визначають техніко-технологічні аспекти візуалізації інформації в контексті її науково-теоретичної, методичної та прикладної спрямованості), суб'єктів освітнього процесу (методика відбору продуктивних форм, методів та засобів, адекватних умовам суб'єктивізації процесу візуалізації, націлених на врахування індивідуально-психологічних особливостей та переваг здобувачів вищої освіти щодо формування компетентностей, визначених освітньою програмою; організація педагогічної взаємодії в системі «викладачі-здобувачі вищої освіти-розробники інформаційних освітніх ресурсів-працівники методичної служби-керів-

ники закладів вищої освіти), технологічного процесу візуалізації навчальної інформації (вибір продуктивних форм, методів, засобів навчання, а також відповідних їм форм, методів, засобів та прийомів візуалізації навчальної інформації; проєктування моделей візуальної навчальної інформації у різновидах навчальних занять, які реалізуються в умовах інформаційних технологій та доповнюються роботою студентів за індивідуальними освітніми траєкторіями, методиками інтерактивного навчання з урахуванням особливостей педагогічного спілкування в процесі отримання теоретичних знань, формування навиків, умінь та досвіду діяльності у відповідності до розгортання відповідних етапів: актуалізації компетентнісної сфери, мотивації навчання, подання навчального матеріалу, виконання квазі-професійних завдань здобувачами вищої освіти та контрольно-оцінна діяльність суб'єктів освітньої діяльності).

ВИСНОВКИ. Таким чином, технологія розвитку умінь візуалізації навчальної інформації майбутніх педагогів професійної освіти значно розширює діапазон подання контекстних, ситуаційних та імітаційних моделей навчання, які можуть опановуватися широким колом здобувачів вищої освіти на основі інтегрування наочних уявлень даних, лаконізму в поданні внутрішніх закономірностей функціонування та розвитку процесів та явищ, які вивчаються, вирішенні завдань щодо побудови залежностей між ознаками, які визначають їх якісний стан, мобільному відновленні у здобувачів вищої освіти прогалятин у знаннях тощо. Основну увагу науково-педагогічним працівникам необхідно зосереджувати на сучасних формах мультимедійних презентацій, що урізноманітнює арсенал способів подання навчальної інформації, розвиває візуальне мислення здобувачів вищої освіти, дозволяє групувати навчальну інформацію так, щоб максимально сприяти продуктивному засвоєнню навчальної інформації.

Перспективами подальших розвідок у розглянутому питанні можуть стати дослідження змісту концептуального, суб'єктного, технологічного компонентів процесу візуалізації навчальної інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безуглий Д. Прийоми візуального подання навчальної інформації. *Фізико-математична освіта*. Суми : СумДПУ ім. А. С. Макаренка, 2014. № 2 (3). С. 7–15.

2. Білоусова Л. І., Житеньова Н. В. Функціональний підхід до використання технологій візуалізації для інтенсифікації навчального процесу. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2017. Том 57. № 1. С. 38–49.

3. Брянцева Г., Брянцев О. Акмеологічний підхід у підготовці учителів до візуалізації навчальної інформації в процесі формування професійної компетентності бакалаврів в умовах професійно-практичної підготовки. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/339208605_Akmeologicnij_pidhid_u_pidgotovci_uciteliv_do_vizualizacii_navcalnoi_informacii_v_procesi_formuvanna_profesijnoi_kompetentnosti_bakalavriv_v_umovah_profesijno-prakticnoi_pidgotovki (дата звернення: 11.05.2022).

4. Великий тлумачний словник сучасної української мови (з дод. і допов.) / Уклад. і голов. ред. В. Т. Бусел. Київ ; Ірпінь : ВТФ «Перун», 2005. 1728 с. URL: <https://archive.org/details/velykislovnyk/page/186/mode/2up?view=theater> (дата звернення: 11.05.2022).

5. Логвіненко В. Г. Використання технології інфографіки для візуалізації навчального контенту. *Фізико-математична освіта*. 2018. Випуск 2 (16). С. 79–85.

6. Ляшова Н. Візуалізація як ефективний метод із методико-математичної підготовки майбутніх учителів початкової школи. *Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти*. 2020. Вип. 13. С. 36–46.

7. Медведовська О. Г., Яценко В. В. Когнітивно-візуальний підхід до створення презентацій з використанням

хмарних сервісів. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2019. Вип. 183. С. 122–126.

8. Семеніхіна О. В., Юрченко А. О. Уміння візуалізувати навчальний матеріал засобами мультимедіа як фахова компетентність учителя. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Педагогіка. Соціальна робота*. Ужгород : Видавництво УжНУ «Говерла», 2014. Вип. 33. С. 176–179.

9. Симоненко С. М. Креативність як основна функція візуального мислення. *Актуальні проблеми психології: Проблеми психології творчості* : збірник наукових праць / За ред. В. О. Моляко. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2008. Т. 12. Вип. 5. Ч. 1. С. 35–40.

10. Шостак І. В. Підвищення ефективності дистанційного навчання у технічних вишах на основі використання інтерактивної когнітивної графіки. *Системи обробки інформації*. 2015. Вип. 9. С. 180–183.

11. Щербатюк В. С. Візуалізація як один із чинників активізації творчої діяльності студентів-філологів під час аналізу ліричних творів. *Молодий вчений*. 2017. № 9.2 (49.2). С. 96–99.

12. Юрченко А. О., Удовиченко О. М. Про необхідність візуалізації навчального матеріалу у електронних підручниках з інформатичних дисциплін. *Нові інформаційні технології в освіті для всіх* : матеріали дев'ятої міжнародної конференції, м. Київ, 26 листопада. 2014. Київ, 2014. Ч. 2. С. 385–387.

DEVELOPMENT OF VISUALIZATION SKILLS OF EDUCATIONAL INFORMATION IN FUTURE PROFESSIONAL EDUCATION TEACHERS

Yurii Krasyllyuk

PhD Pedagogy, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Vocational Education

Kyiv National University of Construction and Architecture, 31 Povitroflotskyi Avenue, Kyiv, Ukraine, 03037, kyursem@ukr.net;

ORCID: 0000-0003-0358-0066

The article substantiates the psychological and pedagogical principles and technology of development of skills of visualization of educational information of future teachers of vocational education in a higher education institution. The content of the concept of visualization of educational information as a combination of a certain way to achieve the didactic goal, which determines the nature of the visual model of objects and processes studied, visualization tools, methodological and technological constructs of their application, the specifics of didactic activities of the teacher according to individual psychological characteristics and the need to intensify its educational and cognitive activities for the perception, understanding of educational information and the formation on its basis of these competencies. A description of the skills of future teachers of vocational education to visualize educational information, which embodies their psychological, technical, technological qualities and didactic competencies, namely: the ability to present educational information, the ability to transform educational information, the ability to process educational activities. It is established that information and communication technologies allow to intensify the educational and cognitive activities of higher education seekers on the basis of enhancing the clarity of educational information and a combination of logical and figurative ways of mastering it. The technology of development of skills of visualization of educational information of future teachers of vocational education as a set of components: conceptual basis (methodological and theoretical-methodical principles of visualization; purpose, tasks, scientific approaches and principles determining technical and technological aspects of visualization of educational information), subjects of educational process (methods of selection of productive forms, methods and tools adequate to the conditions of subjectivization of the visualization process; organization of pedagogical interaction in the system “teachers – higher education – developers of information educational resources – methodological

service workers – heads of higher education institutions”), technological process information (choice of productive forms, methods, means of teaching, as well as the corresponding forms, methods, means and techniques of visualization of educational information; design of models of visual educational information in the types of educational activities that are implemented in the conditions of information technologies are supplemented by the work of students on individual educational trajectories, methods of interactive learning).

Key words: visualization, visualization of educational information, functions of visualization, skills of visualization of educational information, means of visualization of educational information, technology of development of skills of visualization of educational information.

REFERENCES

1. Bezuhlyi, D. (2014). Pryiomy vizualnoho podання navchalnoi informatsii [Techniques of visual presentation of educational information]. *Fizyko-matematychna osvita*. Sumy : SumDPU im. A. S. Makarenka. № 2 (3). S. 7–15. [in Ukrainian]
2. Bilousova, L. I., Zhytienova, N. V. (2017). Funktsionalnyi pidkhid do vykorystannia tekhnolohii vizualizatsii dlia intensyfikatsii navchalnoho protsesu [A functional approach to the use of visualization technologies to intensify the learning process]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia*. Tom 57. № 1. S. 38–49. [in Ukrainian]
3. Briantseva, H., Briantsev, O. (2019). Akmeolohichni pidkhid u pidhotovtsi uchyteliv do vizualizatsii navchalnoi informatsii v protsesi formuvannia profesiinoi kompetentnosti bakalavriv v umovakh profesiino-praktychnoi pidhotovky [Acmeological approach in training teachers to visualize educational information in the process of forming the professional competence of bachelors in terms of professional and practical training]. URL: https://www.researchgate.net/publication/339208605_Akmeologichni_pidkhid_u_pidgotovci_uciteliv_do_vizualizatsii_navchalnoi_informatsii_v_protsesi_formuvannia_profesijnoi_kompetentnosti_bakalavriv_v_umovakh_profesijno-praktychnoi_pidgotovky [in Ukrainian]
4. Velykyi tlumachnyi slovnyk suchasnoi ukrainskoi movy (z dod. i dopov.) [Large explanatory dictionary of the modern Ukrainian language (with applications and additions)] (2005) / Uklad. i holov. red. V. T. Busel. Kyiv; Irpin : VTF “Perun”. 1728 s. URL: <https://archive.org/details/velykyislovnyk/page/186/mode/2up?view=theater> [in Ukrainian]
5. Lohvinenko, V. H. (2018). Vykorystannia tekhnolohii infohrafiky dlia vizualizatsii navchalnoho kontentu [Using infographic technology to visualize educational content]. *Fizyko-matematychna osvita*. Vypusk (16). S. 79–85. [in Ukrainian]
6. Liashova, N. (2020). Vizualizatsiia yak efektyvnyi metod iz metodyko-matematychnoi pidhotovky maibutnikh uchyteliv pochatkovoї shkoly [Visualization as an effective method of methodological and mathematical training of future primary school teachers]. *Profesionalizm pedahoha: teoretychni y metodychni aspekty*. Vyp. 13. S. 36–46. [in Ukrainian]
7. Medvedovska, O. H., Yatsenko, V. V. (2019). Kohnityvno-vizualnyi pidkhid do stvorennia prezentatsii z vykorystanniam khmarnykh servisiv [Cognitive-visual approach to creating presentations using cloud services]. *Naukovi zapysky. Serii: Pedahohichni nauky*. Vyp. 183. S. 122–126. [in Ukrainian]
8. Semenikhina, O. V., Yurchenko, A. O. (2014). Uminnia vizualizuvaty navchalnyi material zasobamy muttymedia yak fakhova kompetentnist uchytelia [Ability to visualize educational material by means of multimedia as a professional competence of a teacher]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Pedahohika. Sotsialna robota*. Uzhhorod : Vydavnytstvo UzhNU “Hoverla”. Vyp. 33. S. 176–179. [in Ukrainian]
9. Symonenko, S. M. (2008). Kreatyvnist yak osnovna funktsiia vizualnoho myslennia [Creativity as the main function of visual thinking]. *Aktualni problemy psykholohii: Problemy psykholohii tvorchosti : zbirnyk naukovykh prats / Za red. V. O. Moliako*. Zhytomyr : Vyd-vo ZhDU im. I. Franka. T. 12. Vyp. 5. Ch. 1. S. 35–40. [in Ukrainian]
10. Shostak, I. V. (2015). Pidvyshchennia efektyvnosti dystantsiinoho navchannia u tekhnichnykh vyshakh na osnovi vykorystannia interaktyvnoi kohnityvnoi hrafiiky [Improving the effectiveness of distance learning in technical universities based on the use of interactive cognitive graphics]. *Systemy obrobky informatsii*. Vyp. 9. S. 180–183. [in Ukrainian]
11. Shcherbatiuk, V. S. (2017). Vizualizatsiia yak odyn iz chynnykiv aktyvizatsii tvorchoi diialnosti studentiv-filolohiv pid chas analizu lirychnykh tvoriv [Visualization as one of the factors of activation of creative activity of students-philologists during the analysis of lyrical works]. *Molodyi vchenyi*. № 9.2 (49.2). S. 96–99. [in Ukrainian]
12. Iurchenko, A. O., Udovychenko, O. M. (2014). Pro neobkhidnist vizualizatsii navchalnoho materialu u elektronnykh pidruchnykakh z informatychnykh dystsyplin [On the need to visualize educational material in electronic textbooks in computer science disciplines]. *Novi informatsiini tekhnolohii v osviti dlia vsikh : materialy deviatoi mizhnarodnoi konferentsii*, m. Kyiv, 26 lystopada. Kyiv, 2014. Ch. 2. S. 385–387. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 22.02.2022

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДОТЕРАПІЇ ЯК ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГО-ВАЛЕОЛОГІЧНОГО ВИХОВАННЯ ТА КОРЕКЦІЇ ЗДОРОВ'Я УЧНІВ ІЗ ОСОБЛИВОСТЯМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО РОЗВИТКУ

Валентина Мелаш

кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри початкової освіти

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, вул. Наукового містечка, 59, Запоріжжя, Україна, 69000, vmelash2018@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-7742-6451

Світлана Дубяга

кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри початкової освіти

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, вул. Наукового містечка, 59, Запоріжжя, Україна, 69000, svetlana_107@ukr.net;

ORCID: 0000-0001-5303-6726

Анастасія Варениченко

кандидат педагогічних наук,
старший викладач кафедри початкової освіти

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, вул. Наукового містечка, 59, Запоріжжя, Україна, 69000, varenychenko2013@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-8920-6299

Для оптимізації процесу еколого-валеологічного виховання та корекції здоров'я учнів із особливостями інтелектуального розвитку необхідно використовувати технологію природотерапії. Нами визначені оптимальні методи психолого-педагогічної корекції суб'єктного ставлення до природи: методи виховання суб'єктного ставлення до природних об'єктів (метод екологічної ідентифікації, метод екологічної емпатії, метод екологічної рефлексії); методи, спрямовані на формування системи екологічних уявлень: (метод екологічної лабілізації, метод екологічних асоціацій, метод художньої репрезентації природних об'єктів); методи навчання практично втілювати конкретні стратегії, технології еколого-валеологічної діяльності. (метод екологічної експектації, метод екологічної турботи).

Ключові слова: еколого-валеологічне виховання, корекція здоров'я учнів, діти з особливостями інтелектуального розвитку, природотерапія, методи, молодші школярі, інтегрований курс «Я досліджую світ».

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ. Спільно з передовими державами світу Україна обрала шлях сталого розвитку, пріоритетними завданнями якого є соціальне та еколого-валеологічне благополуччя населення. Проте успішно досягнути наміченого уряд може лише опираючись на моральну та практичну підтримку кожного громадянина країни.

При цьому суттєвими перешкодами є, з одного боку, екологічна необізнаність та безвідповідальність частини населення, з іншого, – загрозлива статистика стану його здоров'я. Сумною реальією сьогодення є завищений відсоток дітей молодшого шкільного віку з особливостями психічного та фізичного розвитку, які потребують спеціальної корекційної допомоги, задоволення

особливих освітніх потреб та продуктивного включення в стосунки з природним та соціальним оточенням [4].

Особливо актуально забезпечити таких школярів базовими екологічними (в тому числі й здоров'язбережувальними) знаннями, вміннями та навичками, необхідними для усвідомленої, екологічно-грамотної поведінки та стимуляції психічного розвитку.

Оскільки традиційні виховні стратегії не враховують специфіку розвитку психічних процесів особливих учнів, то вчителі закладів освіти мають віднайти ефективні методичні інструменти для реалізації триєдиного завдання стосовно таких школярів: адаптувати, плідно інтегрувати в стосунки з соціальним

та природнім довкіллям, навчити екологічно безпечно їх здійснювати.

МЕТА СТАТТІ – визначення методичних аспектів використання природотерапії як технології еколого-валеологічного виховання та корекції здоров'я учнів із особливостями інтелектуального розвитку.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ. Важливість і необхідність прищеплення бережливого ставлення до природи, надання елементарних екологічних знань та уявлень школярам з особливостями психічного розвитку підкреслювали Бібік Н. М. [1], Висоцька Л. [2], Давиденко Г. В. [3], Г. Блеч, А. Бордунова, О. Граборов, Є. Калініна, Ю. Кондратьєв, Н. Морозова, І. Усвайська, Г. Дульнев, І. Єременко, Є. Стребельова, В. Воронкова, Т. Головіна, Є. Ковальова, Н. Каняєва, Т. Ліфанова, Т. Пороцька, В. Сивоглазова, В. Синьов, Л. Співак, Л. Стожок, Т. Шевирьова та ін., визнаючи екологічне виховання особливих дітей пріоритетним напрямком в загальній виховній стратегії держави.

Зусилля педагога при цьому мають спрямовуватися на: 1) корекцію суб'єктного ставлення школярів до природи та гармонізацію стосунків з природним довкіллям; 2) корекцію психічних порушень та оздоровлення дітей [5, с. 34].

Проте позитивний результат – шанобливе та відповідальне ставлення до природного середовища та власного здоров'я – можна отримати лише шляхом комплексного впливу на емоційну, сенсомоторну, інтелектуальну і вольову сферу психіки дітей.

Надзвичайно потужним засобом становлення особистості та корекції її психічних порушень є об'єкти і явища навколишньої природи, тому з початкової освітньої ланки необхідно систематично застосовувати виховний та оздоровчий потенціал природотерапії.

Сутність використання природотерапії в процесі еколого-валеологічного виховання полягає в формуванні в учнів початкових класів екоцентричної наукової картини світу й адекватного природовідповідного, природозахисного та здоров'язбережувального характеру діяльності шляхом покращення їхнього психофізичного здоров'я.

Природотерапія – це специфічна технологія, яка шляхом впливу на учнів об'єктів і явищ природи допомагає: 1) здійснити профілактику, зміцнення і корекцію здоров'я дітей з психофізичними порушеннями; 2) активізувати пізна-

вальну діяльність та розвивати розумові здібності; 3) формувати екологічну та валеологічну свідомість (зокрема, шанобливе та відповідальне ставлення та ціннісне сприйняття природи та власного здоров'я); 4) адаптувати учнів молодших класів з особливими освітніми потребами до життя серед природи і соціуму.

Плануючи застосовувати технології природотерапії для формування еколого-валеологічної культури молодших школярів із особливостями інтелектуального розвитку слід враховувати наступне.

1. Зміст природотерапевтичного матеріалу має стосуватися об'єктів та явищ живої і неживої природи (характеризувати їх стан, позитивний вплив на психічне здоров'я людини) і способів використання їхнього оздоровчого ресурсу, щоб надавати природотерапевтичні знання, уміння та навички, формувати природозбережні переконання й поведінку дітей.

2. Природотерапевтичний матеріал та методика його подання мають комплексно враховувати такі індивідуально-варіативні показники, як: вік учнів, рівень психічного розвитку, екологічний досвід, індивідуальні сенсорні еталони, стан здоров'я, особливості світосприйняття тощо [8; 9].

Здійснюючи еколого-валеологічне виховання дітей з особливостями психічного розвитку, технологію природотерапії доречно використовувати як складові методів психолого-педагогічної корекції суб'єктного ставлення до природи.

І. Методи виховання суб'єктного ставлення до природних об'єктів.

1. В рамках *методу екологічної ідентифікації* (психологічне моделювання шляхом перетворення в образи об'єкти живої чи неживої природи), щоб надати уявлення про ці об'єкти та допомогти зрозуміти їхній стан, школярам можна запропонувати стати учасниками конкурсу «Голоси лісу» і виконати природотерапевтичні (звукотерапія та танцювальна терапія) завдання.

Дидактична мета: домогтися відчуття умовного злиття з природою, розуміння її почуттів і потреб, покращення психоемоційного стану.

Педагог пропонує об'єднатися дітям за власним бажанням у групи, і постаратися якомога точніше відтворити звуки, які можна почути у лісі. Це можна зробити голосом, жестами, мімікою та ін. Позмагатися у кого вийшло краще. В кінці поділитися враженнями від роботи.

2. *Метод екологічної емпатії.* Для актуалізації співпереживання школярем стану природ-

ного об'єкта та пробудження співчуття до нього корисно запропонувати учням виконати вправу «Біль природи», використовуючи засоби музикотерапії, ізотерапії.

Дидактична мета: тренувати уяву, фантазію, виховувати дбайливе ставлення до природи, коригувати психоемоційний стан (звільнення від переживань, агресії, стресів).

У вступній бесіді вчитель мотивує пізнання учнів запитаннями: Чи завжди ви можете розуміти інших людей, а вони вас? Чи однаково люди сприймають та ставляться до природного оточення? Що природа може відчувати від дій людей? Як потрібно спілкуватися з природою?

Прослухавши вірш В. Фольварочного «Біль природи» (під супровід класичної музики) школярі мають олівцями (фарбами) показати біль ялини, пташки, моря тощо на малюнку, або придумати власний вірш чи твір. В кінці поділитися враженнями та зробленими для себе висновками.

3. Метод екологічної рефлексії. Для аналізу школярами екологічної доцільності власних дій і вчинків стосовно природи можна задіяти музикотерапію та ізотерапію (при можливості ароматерапію) під час обговорення в класі екологічної ситуації [10, с. 47].

Дидактична мета: культивувати усвідомлене ціннісне ставлення до природи, навчити аналізувати свої вчинки стосовно природного оточення, покращити емоційний стан, зняти напругу та стрес.

Спочатку педагог пропонує школярам помилуватися красою природи. Можна показати відеофільм чи презентацію з квітковими пейзажами чи композиціями у супроводі класичної музики (наприклад, «Італійський концерт» Й. Баха) [6; 7]. Доцільно актуалізувати спогади учнів про їхні емоції і відчуття від безпосереднього спілкування з квітами: які вони на дотик, як пахнуть, які барвисті.

Далі діти мають обміркувати і обговорити змодельовану вчителем ситуацію: «Ви випадково не полили вчасно квіти на шкільній клумбі. Що можуть неополиті квіти про вас подумати?». Педагогу важливо підвести кожного учня до висновків, що: 1) рослини можуть вважати його безвідповідальним і жорстоким, оскільки потерпають від спраги через забудькуватість дитини; 2) рослини – це зелені помічники і друзі, які очищують повітря, прикрашають життя, оздоровлюють людину, приємно пахнуть та ін.; 3) за рослинами потрібно дбайливо доглядати і не забувати своєчасно поливати, просапувати, підпушувати.

II. Методи, спрямовані на формування системи екологічних уявлень.

1. Метод екологічних асоціацій можливо реалізувати використовуючи природотерапевтичну вправу «Дерево» (дерево́терапія).

Дидактична мета: встановити асоціативний зв'язок учня з об'єктом природи, щоб сформулювати екологічно-відповідальне ставлення до нього та скоригувати психоемоційний стан.

В процесі безпосереднього спілкування з природою педагог пропонує учням обрати для себе уподобане дерево, обійняти його і спробувати відчуті і ввібрати його силу. Для цього учні впродовж 10–15 хвилин мають упертися п'ятами в землю, міцно стиснути кулаки і зіщипити зуби, зосередити погляд на дереві. Вчитель налаштовує кожного на сеанс енергетичного обміну з рослиною словами: «Уяви, що ти – могутнє дерево, маєш потужне коріння, тебе не лякають ніякі вітри, ніякі негаразди. Коли у тебе труднощі, важко на душі, тривожно або самотньо, плаксивий настрій, згадай і стань незламним «деревом», запевни себе, що ти сильний і здатний здолати все, що турбує і домогтися бажаного. Тоді ти з усім справишся, і все буде добре». В процесі дерево́терапії учні опановують мистецтво володіти собою, позбавляються страхів, невпевненості у собі, тривоги, навчаються самоаналізу та умінню приймати рішення.

2. Метод екологічної лабілізації допомагає підвищити мотивацію школярів здійснювати екологічні та природолюбні дії та подолати відчуття переживання, тривоги, сорому, провини, розчарування, агресії, невпевненості, безпорадності через екологічну неефективність звичної поведінки. Щоб усунути лабілізацію вчитель може запропонувати молодшим школярам виконати вправу «Моральна дилема».

Дидактична мета: викликати емоції, що налаштовують на самостійну екологічну діяльність, спонукати учнів висловити ставлення до конкретного факту або подій, розкрити особисті враження, емоції, допомогти усвідомити необхідність бережливого ставлення до природи для особистого здоров'я.

В процесі ізотерапії вчитель пропонує учням помилуватися красою природи (показує відеофільм, презентацію, картини), яку псують сміттєзвалища, бездомні тварини, понівечені дерева. Після перегляду учні обмірковують запитання вчителя: 1. Яким у вас буває настрій, коли ви зустрічаєте сміттєзвалище серед вулиці? 2. Чи відчуваєте ви неприємні почуття через

забруднення довкілля? 3. Які емоції викликали у вас переглянуті картини природи, сплюндровані людиною? 4. Чи викликають у вас зображені екологічні негаразди бажання діяти, щоб виправити ситуацію? Далі учні виконують творче завдання «Щоб земля стала чистішою», в якому відтворюють свої враження і пропозиції.

Корисно запропонувати учням уявити себе мешканцями лісу, подумати і записати умови, потрібні для нормального і зручного життя у лісонасадженні. Наприклад, до списку умов для дерев у лісі учні мають записати: чисте повітря, достатньо чистої води, прибране сміття, догляд, боротьба з шкідниками і хворобами, наявність гніздівель для птахів та ін. Добре доручити дітям обмірковувати та записати дії, які б вони зробили для поліпшення життя лісових мешканців, тобто скласти план екологічних дій.

3. Метод художньої репрезентації природних об'єктів передбачає формування образів природи в учня органічне поєднуючи засоби мистецтва та наукові знання, які набувають емоційного забарвлення, отже особистісної значущості. Ці завдання вчитель втілює через виконання учнями ізотерапевтичної вправи «Малювання своїх відчуттів».

Дидактична мета: організувати самовираження учнів у художніх образах, навчити відображати малюнком емоції, відчуті від спілкування з природою (безпосереднього чи опосередкованого), визначити та налаштувати на позитив психоемоційний стан учнів.

На уроці з інтегрованого курсу «Я досліджую світ» (тема «Осінні явища в житті рослин») після перегляду з учнями відео (презентації) з дивовижними осінніми пейзажами, барвистими осінніми квітами (у супроводі класичної музики) педагог пропонує їм згадати власні спостереження за осінніми змінами наприклад, з рослинами та поділитися своїми відчуттями і враженнями за допомогою олівців чи фарб. В процесі та після малювання діти мають вільно висловлювати свої почуття та мрії, що допомагає їм розкріпатися, подолати тривожність, нервозність, врівноважити агресію, оздоровитися. Наприкінці школярі повинні словесно (в творчій формі) презентувати свій малюнок перед однокласниками та долучитися до складання колірної гами настрою, яку педагог уважно аналізує, щоб мати уявлення про характер пануючої в класі атмосфери, самопочуття учнів, їхнє ставлення до змісту та методики навчання та природних об'єктів. Встановлено, що домінуючі на малюнках учнів кольори означають:

а) жовтий – сонце, світло, радість, звільняє організм від токсинів, стимулює позитивне сприйняття життя, допомагає подолати невпевненість; б) червоний – тепло, життя, дія, надає гарний настрій та рішучість; в) помаранчевий – добро, активізує розумову діяльність і творчі здібності; г) зелений – найпотужніший терапевт, доброзичливий, зміцнює дисципліну, поліпшує самопочуття; блакитний – освіжає, заспокоює.

За допомогою методу екологічно-емоційного впливу педагог формує біоетичні почуття та екологічно-прийнятні стереотипи поведінки в довкіллі, організовуючи чуттєве сприйняття (спостереження, дослідження) конкретних об'єктів природного оточення. З цією метою доцільно залучити учнів виконати вправу-релаксацію «Природа лікує» (ароматерапія, звукотерапія).

Дидактична мета: ознайомити та навчити використовувати оздоровчі властивості природи, сформувати вміння сенсорно відчувати природу, допомогти усвідомити взаємозв'язок і взаємозалежність з нею, розвинути потребу її оберігати.

Виконуючи вправу, школярі прослуховують аудіозапис «Голоси лісу» (звуки: спів пташок, шелест листочків, дзюркотіння джерела, шипіння змії, дзижчання комах та ін.) та вдихають запахи лікувальних трав (подушечки з лавандою, мелісою, розмарином, м'ятою, шавлією, ромашкою). В ході релаксації учні навчаються стримувати емоції; з мінімальними нервовими затратами долати стресові ситуації; знімають наслідки розумової, нервової та фізичної перевтоми; покращують настрій та самопочуття (зникає головний біль, роздратування. Додатково школярі привчаються відчувати життя природи, прислухатися до її звуків, милуючись формами та розмаїттям барв, роблять висновки про емоційну, естетичну та оздоровчу цінність природи, яку обов'язково потрібно оберігати для майбутніх поколінь.

III. Методи навчання практично втілювати конкретні стратегії і технології еколого-валеологічної діяльності.

1. В рамках методу екологічної експектації (входження) педагог, щоб психологічно налаштувати молодших школярів на відповідну екологічним нормам і «вимогам» природи взаємодію з нею, може скористатися природотерапевтичним ефектом вправи «Наодинці з природою».

Дидактична мета: підготувати учнів до партнерських стосунків з природою, налаштувати на природолюбну стратегію поведінки в довкіллі,

розвивати сенсорні відчуття, активізувати уяву, актуалізувати позитивні емоції та зміцнити психофізичне здоров'я.

Вправа може виконуватися безпосередньо на місцевості (під час прогулянки, екскурсії), або педагог організовує уявний сеанс спілкування з мальовничими куточками природи (перегляд картин, відео, презентацій).

Педагог влаштовує хвилинки зустрічі з природою, наприклад, квітучого луку, та запрошує учнів деякий час помилуватися і насолоджуватися приємними враженнями. При цьому діти мають або безпосередньо, або уявно спостерігати (роздивлятися, слухати, нюхати, торкатися) та аналізувати свої відчуття.

Уявний сеанс спілкування з чудовою уподобаною дітьми місциною добре супроводжувати класичними мелодіями, звуками природного походження, запахами лугового різнотрав'я, адже школярі повинні уявити себе на ній і спробувати відтворити «побачене», «почуте», свої емоції і бажання у розповіді. Педагог скеровує процес фантазування та відтворення його результатів запитаннями: Кого і що ви зустріли і побачили на «лузі»? Які барви переважають на вашому «лузі»? Який колір Вам найбільш приємний, бадьорить і покращує ваше самопочуття? Що ви чуєте, які звуки вас радують, а які насторожують? Якими ароматами наповнений ваш «луг»? Чи можна щось скуштувати, який смак? Спробуйте доторкнутися руками до лугових трав, тваринок, роси і відчуті їх на дотик? Спробуйте погуляти по траві босоніж, які відчуття отримujete? Поділіться з друзями своїми емоціями від прогулянки на «лузі»? Чи змінилося ваше самопочуття? Поміркуйте, як потрібно поводити себе серед природи, щоб отримувати гарний настрій, покращувати здоров'я?

Корисно запросити дітей відтворити свій емоційний стан у малюнку (сфотографувати), щоб пролонгувати приємні емоції і отримати більший терапевтичний ефект [13; 14].

2. Метод екологічної турботи в формі творчого завдання «Книга Дерева» (поєднує різноманітні природотерапевтичні засоби) педагог застосовує для налаштування учнів на активні дії, щоб допомогти природним об'єктам та всіляко сприяти їх благополуччю.

Дидактична мета: навчити відчувати спорідненість з природою; домогтися розуміння тотальної взаємопов'язаності у довкіллі, прищепити відповідальність і ціннісне ставлення до природи, сприяти прояву екологічної активності

учнів (співчуття, підтримка, співучасть, піклування), зміцненню психофізичного здоров'я.

Під час перебування в природному оточенні (на екскурсії, прогулянці, уроці милування) учні на пропозицію педагога вибирають уподобане дерево, яке за їхніми суб'єктивними відчуттями покращує їхнє самопочуття. Вчитель формулює завдання: впродовж року спостерігати за будовою, життям та змінами, що відбуваються з цим деревом, подіями, що його стосуються і фіксувати побачене (вести щоденник спостережень, робити замальовки, фотографувати). В процесі роботи школярі охоче виконують доручення вчителя: порівнюють будову дерева з людським тілом (наприклад, кора дерева нагадує шкіру людини, коріння – ноги, гілля – руки); замальовують кору дерева (заштриховуючи олівцем притиснутий до кори щільний папір); слухають шепіт стовбура дерева; вдихають запахи; занотовують свої враження про відчуття та емоції дерева; фантазують про діалог дерева з вітром, сонцем, дощем; складають про дерево казки, оповідання, загадки; розмовляють і розмірковують з обраним об'єктом. Корисно націлити дітей досліджувати лікувальні властивості свого дерева, релаксувати біля нього, доглядати, обережувати, часто навідувати. Кінцевим продуктом творчої та практичної діяльності кожного школяра має стати Книга Дерева, що містить записи, малюнки, звіти про акти турботи, рекомендації щодо екологічно грамотних та валеологічних стосунків з деревом. Книги Дерева учнів класу педагог використовує, щоб влаштувати виставку «Життя мого дерева».

Слід підкреслити, що надзвичайно потужний виховний, зцілюючий та стимулюючий розвиток сенсорної, емоційної, моральної та інтелектуальної сфери учня ефект дає організація педагогом безпосереднього контакту з об'єктами природи чи природними матеріалами.

ВИСНОВКИ. Таким чином, технологія природотерапії має посідати значне місце в екологічному виховному процесі, оскільки завдяки дії природних психологічних стимулів на перцептивний, когнітивний та практичний канали формування суб'єктивного ставлення учня до природи допомагає задіяти поведінкові психологічні стимули і в комплексі формувати позитивне й відповідальне ставлення до природи і власного здоров'я, спонукати до екологічно й валеологічно-доцільної поведінки, корегувати психічне і фізичне здоров'я дітей з особливостями інтелектуального розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бібік Н. М. Нова українська школа: порадник для вчителя. К. : ТОВ «ВД «Плеяди»», 2017. 206 с.
2. Висоцька Л. Державна політика в галузі інклюзивної освіти. *Профтехосвіта*. 2015. № 2. С. 10–11.
3. Давиденко Г. В. Інклюзивна освіта: досвід і перспективи : монографія. Вінниця, 2016. 242 с.
4. Державний стандарт початкової освіти. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 21 лютого 2018 р. № 87. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-п#Text>
5. Засєкова Н. В., Трейтак А. О. Інклюзивна освіта від А до Я: порадник для педагогів і батьків. К., 2016. 68 с.
6. Колупасєва А. А. Сучасні інноваційні тенденції в освіті, навчанні та психолого-педагогічному супроводі дітей з особливими потребами. *Основи соціальної педіатрії* : навч.-метод. посіб. К., 2016. 179 с.
7. Кремень В. Г. VII Міжнародний Конгрес зі спеціальної педагогіки та психології «Діти з особливими потребами: від рівних прав – до рівних можливостей». *Вісник Національної академії педагогічних наук України*, 3 (2), 2021. URL: <https://doi.org/10.37472/2707-305X-2021-3-2-3-2> (Дата звернення: 05.05.22).
8. Малишевська І. А. Теоретико-методичні основи підготовки фахівців психологопедагогічного профілю до роботи в умовах інклюзивного освітнього середовища : монографія. Умань : «ВПЦ» Візаві, 2018. 386 с.
9. Удич З. І. Основи інклюзивної освіти : навч.-метод. посіб. Тернопіль : КПЦ «ПРИНТ-ОФІС», 2015. 378 с.
10. Чеботарьова О. В., Блєч Г. О., Гладченко І. В., Бобренко І. В., Мякушко О. І., Сухіна І. В., Трикоз С. В. Корекційно-розвивальні технології навчання дітей з комплексними порушеннями розвитку : навч.-метод. посіб. К. : ІСПП імені Миколи Ярмаченка НАПН України, 2020. 558 с.
11. Шаповалова Т. Г., Мелаш В. Д., Ковальчук К. І. Гармонізуюча енергетика природи : навч.-метод. посіб. Бердянськ, 2015. 205 с. (Екологічна освіта для сталого розвитку).
12. Шевців З. М. Основи інклюзивної педагогіки. К. : «Центр учбової літератури», 2018. 248 с.
13. Melash V., Saienko Y., Varenychenko A. (2021). Theoretical and methodological foundations of training the future primary school teachers for research and innovation activity. *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*, pp. 121–125.
14. Shevchenko Yu., Dubiaha S., Melash V., Fefilova T., Saenko Yu. (2020). The role of teachers in the organization of inclusive education of primary school pupils. *International Journal of Higher Education* / Vol. 9, No. 7. Pp. 207–216.

METHODS OF USING NATURE THERAPY AS A TECHNOLOGY OF ECOLOGICAL AND VALEOLOGICAL EDUCATION AND CORRECTION OF HEALTH OF STUDENTS WITH INTELLECTUAL DISABILITIES

Valentyna Melash

Candidate of Pedagogical Sciences,

Associate Professor at the Department of Elementary Education

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, 59 Naukove Mistechko str., Zaporizhzhia, Ukraine, 69000, vmelash2018@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-7742-6451

Svitlana Dubiaha

Candidate of Pedagogical Sciences,

Associate Professor at the Department of Elementary Education

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, 59 Naukove Mistechko str., Zaporizhzhia, Ukraine, 69000, svetlana_107@ukr.net;

ORCID: 0000-0001-5303-6726

Anastasiia Varenychenko

Candidate of Pedagogical Sciences,

Senior Lecturer at the Department of Elementary Education

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, 59 Naukove Mistechko str., Zaporizhzhia, Ukraine, 69000, varenychenko2013@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-8920-6299

In order to optimize the process of ecological and valeological education and correct the health of children with intellectual disabilities, it is necessary to use the technology of nature therapy. We have identified the best methods of psychological and pedagogical correction of the subjective attitude to nature: methods of educating the subjective

attitude to natural objects: method of ecological identification (psychological modeling by transforming objects of living or inanimate nature into images); method of ecological empathy (to actualize childrens' empathy for the state of the natural object and awaken empathy for it, it is useful to invite children to perform the exercise "Pain of Nature", using the means of music therapy, isotherapy); method of ecological reflection (to analyze the ecological expediency of childrens' own actions and actions in relation to nature, you can use music therapy and isotherapy (if possible, aromatherapy) during the discussion in the classroom of the environmental situation); methods aimed at forming a system of ecological ideas: (method of ecological labialization, method of ecological associations, method of artistic representation of natural objects); teaching methods to practically implement specific strategies, technologies of ecological and valeological activities (method of ecological expectation, method of ecological care).

The technology of nature therapy should play a significant role in the ecological educational process, because due to the action of natural psychological stimuli on the perceptual, cognitive and practical channels of forming a subjective attitude to nature helps to use behavioral psychological stimuli and form a positive and responsible attitude to nature to encourage ecologically and valeologically expedient behavior, to correct mental and physical health of children with features of intellectual development.

Key words: ecological and valeological education, correction of students' health, children with intellectual disabilities, nature therapy, methods, children of primary school, integrated course "I explore the world".

REFERENCES

1. Bibik, N. M. (2017). Nova ukrainska shkola: poradnyk dlia vchytelia [New Ukrainian school: a guide for teachers]. K. : TOV "VD 'Pleiady'", 206 p. [in Ukrainian]
2. Vysotska, L. (2015). Derzhavna polityka v haluzi inkliuzyvnoi osvity [State policy in the field of inclusive education]. *Vocational education*. № 2. P. 10–11. [in Ukrainian]
3. Davydenko, H. V. (2016). Inkliuzyvna osvita: dosvid i perspektyvy: monohrafiia [Inclusive education: experience and prospects] : monograph. Vinnytsia, 242 p. [in Ukrainian]
4. Derzhavnyi standart pochatkovoi osvity. Zatverdzheno postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 21 liutoho 2018 r. № 87 [State standard of primary education. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of February 21, 2018 № 87]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-п#Text> [in Ukrainian]
5. Zaierkova, N. V., Treitiak, A. O. (2016). Inkliuzyvna osvita vid A do Ya: poradnyk dlia pedahohiv i batkiv. [Inclusive education from A to Z]: a guide for teachers and parents. K., 2016. 68 p. [in Ukrainian]
6. Kolupaieva, A. A. (2016). Suchasni innovatsiini tendentsii v osviti, navchanni ta psykhologo-pedahohichnomu suprovodi ditei z osoblyvymy potrebamy [Modern innovative trends in education, training and psychological and pedagogical support of children with special needs]. *Fundamentals of social pediatrics* : manual. K. 179 p.
7. Kremen, V. H. (2021). VII Mizhnarodnyi Konhres zi spetsialnoi pedahohiky ta psykhologii "Dity z osoblyvymy potrebamy: vid rivnykh prav – do rivnykh mozhlyvostei". [VII International Congress on Special Pedagogy and Psychology "Children with Special Needs: From Equal Rights to Equal Opportunities"]. *Bulletin of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine*, 3 (2). URL: <https://doi.org/10.37472/2707-305X-2021-3-2-3-2> [in Ukrainian]
8. Malyshevska, I. A. (2018). Teoretyko-metodychni osnovy pidgotovky fakhivtsiv psykhologopedahohichnoho profilu do roboty v umovakh inkliuzyvnoho osvithnoho seredovyscha [Theoretical and methodological bases of preparation of specialists of psychological and pedagogical profile to work in the conditions of inclusive educational environment] : monograph. Uman : VOC Vizavi, 2018. 386 p. [in Ukrainian]
9. Udych, Z. I. (2015). Osnovy inkliuzyvnoi osvity : navch.-metod. posib. [Fundamentals of inclusive education : manual]. Ternopil : KIC "PRINT-OFFICE", 2015. 378 p. [in Ukrainian]
10. Chebotarova, O. V., Blech, H. O., Hladchenko, I. V., Bobrenko, I. V., Miakushko, O. I., Sukhina, I. V., Trykoz, S. V. (2020). Korektsiino-rozvyvalni tekhnologii navchannia ditei z kompleksnymy porushenniamy rozvytku : navch.-metod. posib. [Correctional and developmental technologies of teaching children with complex developmental disorders : manual]. K. : ISPP named after Mykola Yarmachenko NAPS of Ukraine, 2020. 558 p. [in Ukrainian]
11. Shapovalova, T. G., Melash, V. D., Kovalchuk, K. I. (2015). Harmonizuiucha enerhetyka pryrody : navch.-metod. posib. [Harmonizing energy of nature : manual]. Berdyansk, 205 p. (Environmental education for sustainable development). [in Ukrainian]
12. Shevtsiv, Z. M. Osnovy inkliuzyvnoi pedahohiky. [Fundamentals of inclusive pedagogy]. K. : "Center for Educational Literature", 2018. 248 p. Pp. 14–24. [in Ukrainian]
13. Melash, V., Saienko, Y., Varenychenko, A. (2021). Theoretical and methodological foundations of training the future primary school teachers for research and innovation activity. *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*, pp. 121–125.
14. Shevchenko, Yu., Dubiaha, S., Melash, V., Fefilova, T., Saenko, Yu. (2020). The role of teachers in the organization of inclusive education of primary school pupils. *International Journal of Higher Education* / Vol. 9, No. 7. Pp. 207–216.

Стаття надійшла 16.02.2022

THE MEASURING MONITORING NETWORK OF TOXIC POLLUTANTS IN ECOSYSTEM FOR THE SUSTAINABLE ENVIRONMENT

Valeriia Lytvynenko

Postgraduate Student at the Department of Ecology and Technology of Plant Polymers

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, 03056, Ukraine, valeriialytvynenko18@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-4348-5832

Alina Dychko

Doctor of Engineering,

Professor at the Department of Geoengineering

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, 03056, Ukraine, aodi@ukr.net;

ORCID: 0000-0003-4632-3203

Igor Yermeyev

Doctor of Engineering,

Professor at the Department of Automated Process Control

Taurida National V. I. Vernadsky University, 33 Ivana Kudri str., Kyiv, 04000, Ukraine;

ORCID: 0000-0003-1968-0395

Environmental monitoring of the area of influence of pollutants of sewage is inextricably linked with the state of atmospheric air parameters, which determines the final characteristics of the process. In this case, this interaction has a significant impact on the development and functioning, as well as the durability of plant components of ecosystems. Increasing the accuracy and reliability of monitoring results is due to the economic difficulties due to the high cost of equipment (detectors, communication channels, multiplexing devices, security systems, etc.). The aim of the research is to optimize the measuring monitoring network of toxic pollutants, taking into account the number and location of pollutant detectors. The simplest developed method is based on taking into account the radius of the area of reliable detection, which depends on the signal threshold of detection, which in turn depends on the background pollution and its fluctuations in the control locations, the distance from the source of the emissions, the time of exposure of the detector (or the processing time of the analysis), the level the actions of the control system (the values of pollution, the achievement of which should trigger an alarm system to exceed the maximum permissible value of pollution), flow velocity.

The system approach to the analysis of heavy technogenic accidents and their ecological consequences is aimed at the coordination and integration of the use of scientific research, the holistic coverage of the phenomena of interest, the deepening of the study of the mechanism of accidents, the development of emergency processes in space and time, the impact of the impressive factors of the accident on the environment. The developed methodology for the analysis of the toxic pollutions, including waste with hexamethylenediamine, is built on a hierarchical principle, consisting of blocks of analysis of accidents, examination of the consequences of accidents, a priori and a posteriori risk assessment, as well as the adoption of managerial decisions.

Key words: monitoring, hexamethylenediamine, pollutant detectors, control system, legislative-administrative subsystem, ecological information system.

INTRODUCTION. Today the issue of wastewater treatment is relevant chemical plants that contain hexamethylenediamine in the production cycle. Chemical companies that use AG salt as a source for production synthetic fibers, dealing with waste that enters the wastewater, namely, with hexamethylenediamine (HMD). HMD is used to obtain valuable polymer products – polyamides, nylons. In its interaction with phosgene, hexamethylenediisocyanate is formed, which is

widely used for the production of polyurethane rubber, synthetic varnishes, adhesives, synthetic fibers. HMD is moderately toxic, has irritating effects, causes burns and dermatitis of the skin, mucous membranes of the respiratory tract.

Contaminated water is dangerous to humans by entering groundwater and reservoirs through the ground. Thus, there is chemical pollution substances of ponds, lakes, rivers and wells that are close to chemical industry enterprises. In rural areas where there is

none centralized water supply, this contaminated water daily used for household needs and for eating. The biggest problem is the ingress and accumulation of untreated water in the human body, which, in turn, contributes to the development of various diseases and even death. Thus the monitoring of harmful substances in the environment is the actual problem. The aim of the research is to optimize the measuring monitoring network of toxic pollutants, taking into account the number and location of pollutant detectors.

In the automated monitoring systems an important role is played by the choice of the number and location of pollution detectors. As machines and systems become more complex, this problem can only get worse, and there is a clear and urgent need to create comprehensive equipment management programs that take into account the various considerations required for efficient maintenance. The modern approach [1] represents a strategy from the cradle to the grave to maintain the operation of the equipment, avoid the consequences of failures and ensure the production capacity of the equipment. Going far beyond traditional approaches, this strategy includes quality and safety, human error and software maintenance, as well as cost, reliability and maintainability. From specialized books and technical articles, authors collected and integrated the latest achievements of engineering maintenance into practical step-by-step plans designed to optimize maintenance activities, extend the life of equipment and minimize failures.

MODERN APPROACHES TO THE ENVIRONMENT MONITORING. The environmental consequences of rapid industrialization [7] have resulted in countless incidents of land, air and water resources sites being contaminated with toxic materials and other pollutants, threatening humans and ecosystems with serious health risks. More extensive and intensive use of materials and energy has created cumulative pressures on the quality of local, regional and global ecosystems. Before there was a concerted effort to restrict the impact of pollution, environmental management extended little beyond laissez-faire tolerance, tempered by disposal of wastes to avoid disruptive local nuisance conceived of in a short-term perspective. The need for remediation was recognized, by exception, in instances where damage was determined to be unacceptable.

When analyzing such a complex system, as the environment, the following principles should be followed: simplification; consideration of processes in dynamics; considering the possibility of ambiguity,

incompleteness and inaccuracy of information; using a risk-based approach to impact assessment; understanding the system as a hierarchical structure able for adaptation and development [4]. All local ecosystems in the region are interconnected and affect the characteristics of neighboring local ecosystems, usually requiring the adjustment of resources and connections.

The definition of the optimal structure of measuring environmental monitoring network is proposed by displaying the area of contamination and evaluation of dynamics of the pollution's "spots" that uses the methods of the theory of fractals and the theory of sets and general topology [5].

Presented approach [6] allows, under conditions of ensuring the requirements of the admissible metric (radius of detectors sensitivity) and taking into account the terrain and other features of the migration of contaminants, to find such optimal configuration of the monitoring system that will provide reliable information on the state of the environment in the controlled areal. Using the proposed algorithm it's possible to construct a set of fractal contours of any configuration with a given accuracy of reflections, which characterize the distribution of contaminants of the same level in the controlled areal, and to use the contours of the same level, or surfaces, characterizing the areal status at different times, to identify the dynamics of contaminants migration.

Two specific concepts [8] served as the basis for the control approach:

- the assimilative capacity concept, which asserts the existence of a specified level of emissions into the environment which does not lead to unacceptable environmental or human health effects;
- the principle of control concept, which assumes that environmental damage can be avoided by controlling the manner, time and rate at which pollutants enter the environment.

In response [9] to extensive evidence of the serious contamination associated with unrestricted management of waste, governments have established standards for acceptable practices for collection, handling and disposal to ensure environmental protection. Particular attention has been paid to the criteria for environmentally safe disposal through sanitary landfills, incineration, hazardous-waste treatment and the environmental monitoring of toxic pollutions.

This report [12] deals with the design and operation of source and environmental monitoring programs and systems relating to the release of radioactive

material to the environment from authorized (registered or licensed) practices under normal operating conditions and during the decommissioning of facilities.

The method of online control of pollution in local areas involves the use of a specialized mobile environmental laboratory with a trailer for simultaneous collection and rapid analysis as samples of air, water and soil in the area under the flame of the alleged source of excessive pollution, taking into account meteorological characteristics and sampling emissions, as well as the measurement of aerodynamic parameters directly on the intended source of excessively normal pollution in the tube to determine the intensity of emissions of hazardous substances [2]. Then the test results are automatically transmitted via the mobile Internet to the computer. The proposed method of controlling air pollution in local areas provides rapid analysis of the sample of atmospheric air, water and soil in the flame zone of the expected and source of excessively normal pollution, taking into account meteorological characteristics and industrial emissions, accurate calculation of the contribution of industrial emissions to the general level, air pollution and online detection of sources of potential air pollution in local areas.

The practices considered include nuclear facilities (power plants, research reactors, reprocessing plants, fuel production plants, radioisotope production plants, uranium and thorium mining and milling facilities, near surface disposal facilities for radioactive waste) and non-nuclear facilities, for example, hospitals, research and educational establishments, and plants that handle naturally occurring radioactive material (NORM). It also deals with monitoring sites contaminated as a consequence of past practices. It does not, however, deal in detail with the monitoring and surveillance of residues from the mining and milling of uranium and thorium, as this is a matter covered in a separate Safety Report [13], or the surveillance and monitoring of near surface disposal facilities for radioactive waste, as this is covered in a further Safety Report [14].

NETWORKS AROUND SOURCES OF EMISSIONS. An approach based on the analysis of the ratio of the probability of registration of the emissions $P(n)$ and the cost of the control system $N(n)$ is possible in order to assess the amount of detectors required for reliable control of the number of detectors. This relation $F(n)$ has a maximum corresponding to the optimal number of detectors. Usually the cost of a data center N_d depends little on the number of detectors and can be taken as

a constant. Similarly, the cost of one detector N_d does not depend on the number of detectors in the system:

$$N(n) = N_d + n N_o$$

and

$$F(n) = p(n)/N(n) = N_d^{-1} P(n) (2 + N_o N_d^{-1} n)^{-1}.$$

In the case of zeroing the derivative $F(n)$ by n , we can obtain the expression for the optimal number of detectors n_o :

$$N_o N_d^{-1} = [(1-p)^{n_o} - 1] / [(1-p)^{n_o} \ln(1-p)]^{-1} - n_o,$$

where $p = S_B / S_0$ is the probability of detecting contamination by one of the detectors when the contamination has spread to the S_B area, while the area of reliable control of the area by means of a number of detectors, which is determined by the sensitivity of the detectors used, covers the area S_0 , and

$$P(n) = 1 - (1-p)^n.$$

Typically, the value of $P(n)$ is determined, which results in an approximate determination of the value of n , and then they find the relation N_o / N_d , at which $n = n_o$.

If the discharges are sufficiently long and the pollution covers the entire area S_0 , the task of assessing the accuracy of the data on the contamination of the region S_0 by the data from n detectors arises, which is determined as a result as the ratio of the area S covered by the control to the area S_0 . The expression for R , which replaces $P(n)$, can be represented as

$$R = 1 - \exp(-S_1 n S_0^{-1}),$$

where S_1 is the area controlled by one detector.

Using the value R instead of $P(n)$, we get another expression to determine the optimal number of detectors:

$$N_d / N_n = p_k^{-1} [\exp(p_k n_o) - 1] - n_o,$$

where $p_k = S_k / S_0$ is the relative size of the area on which data from one detector can be distributed.

In accordance with the above considerations, assuming that the radius of control of one detector, which is equal to half the radius of correlation (the distance at which the normalized function of the correlation of the pollution characteristics of two adjacent detectors decreases by e times) is 3 km and $R = 0.7-0.8$, 80–110 detectors are required for reliable control within a radius of 25 km from the source of emissions.

But the development of the network of measuring monitoring alone has no prospects, since this path only states the current situation and does not allow predicting its dynamics and trends, and the costs for its creation and operation are quite large.

At the same time, and the use of only mathematical models of pollution migration and situation assessment, that is, the use of so-called model monitoring, cannot provide reliable information support for making responsible decisions due to significant modeling errors and ambiguity of the results obtained. Exiting the situation is possible by combining in one system of measuring and model monitoring, that is, using the so-called hybrid monitoring.

NETWORKS IN A CONTROLLED AREA. The reliability of monitoring data is closely related to the adopted concept of monitoring the system, with which state-of-the-art assessment techniques are used, with the degree of clarity and normalization of analytical methods and/or analyzes, quality control methods used, etc. In the process of analyzing the state of the system it is not enough to answer the question “present”, “how many present”, “in what form is present”. It is necessary to consider all relevant factors and the relation of the “Environment” system, the influence of individual elements of the system on one another and on the system as a whole in planning and conducting the analysis, as well as interpretation of the results. In this sense, it is interesting to consider the structure of the organizational and methodological system “Environmental analysis”, the conceptual model of which is given in Figure1.

This system consists a number of subsystems. The legislative-administrative subsystem (LS)

defines the research areas to be carried out, the types of contaminations and their permissible concentrations, the frequency and place of sampling, the accuracy and reliability of the data and their information value. Between the elements of the subsystem LS there are certain information relations. Thus, the element “source of pollution” (SP) characterizes (as a rule, not very reliable) the types, amount (intensity) of emission and time of release, as well as the dynamics of emissions. This element is considered as the basis for a number of subsystems and elements of subsystems, between which there are material relations. The subsystem “Environment” (E) contains a number of elements (“air”, “precipitation”, “water”, “soil”, “flora”, “fauna”, “human”), among which, as well as the element “sampling” there are certain ratios.

Each emissions of sewage in the reservoir affect the disturbance of equilibrium in the distribution of pollution in the environment. This, in turn, entails a change in the dynamic equilibrium of material flows. With the knowledge of all biological, chemical and physical laws, every step and the transition in this equilibrium can be understood and mathematically described by models.

The ultimate goal of the analysis in a similar situation is to describe the distribution of pollution in the environment, taking into account the potential risk for humans, and although neither the source of contamination nor the details of material flows

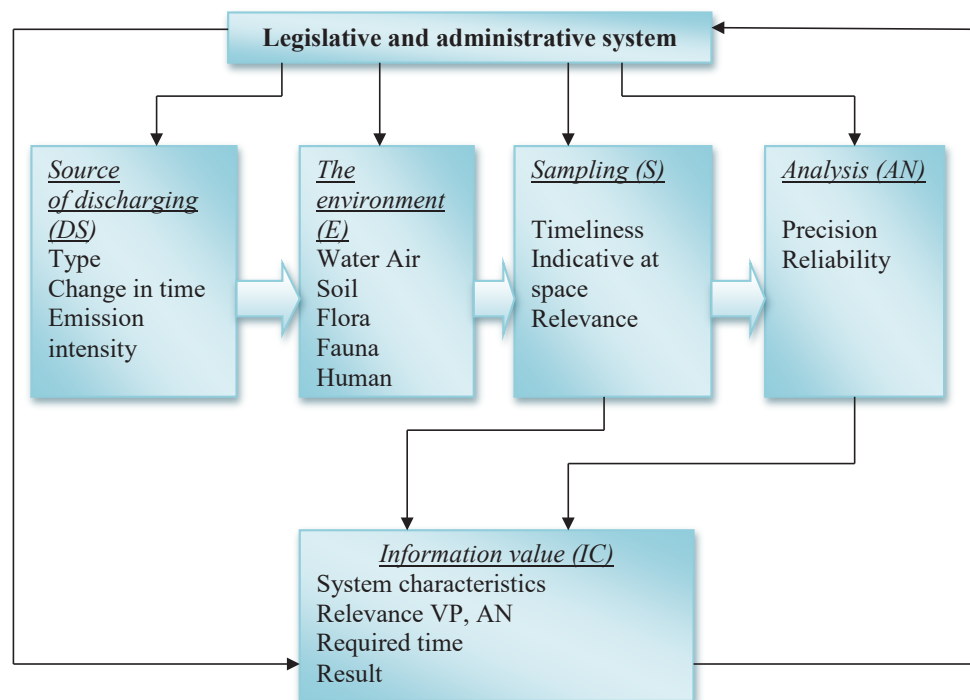


Figure 1 – Conceptual model of the system “Analysis of natural and engineering wastewater systems”

are accurately identified, calculating the exact load of toxins per person.

An exhaustive description of the distribution of pollution in the environment requires the complete control of all toxins and knowledge of their variations in space and time. Due to the large number of elements in the subsystem E and the inadequate knowledge of this subsystem in general, a description of the ecological situation and its full control are unlikely. Studies may be limited to random samples whose contents may differ from the characteristic element of subsystem E. Therefore, the value of information obtained during the analysis of samples should be determined by factors such as time and space representativeness and relevancy (the possibility of extrapolation of the analysis of the sample into whole element of subsystem E).

The "Analysis" element includes the procedures necessary for measuring and quality control. Analytical reliability is characterized by accuracy, reliability, detection limits, statistical analysis.

The "Result" element should provide in numerical form the properties of the investigated sample. During the interpretation of the data obtained, it is necessary to confirm the criteria such as relevancy and representableness of the samples and analytical reliability. If the evaluation of the results depends on the efficiency of obtaining data, then it is necessary to determine the optimal, as well as the maximum allowable time. Although costs do not directly affect the value of information, but under certain conditions, they can restrict freedom when choosing one or another procedure, so this factor should be taken into account and, if necessary, set the maximum permissible values.

The above system tracks various influences and feedback between its individual elements and subsystems. It can provide quantifiable information that is available during the analysis of samples, as well as characterize the value of information to be approached on the basis of accepted safety standards, determine the sampling scheme and the necessary analytical procedures. At the same time, it does not issue recommendations to increase the sensitivity of analytical procedures if the relevancy and representableness of the samples are inadequate. Consequently, sampling, analytical procedures, methods of quality control, formulation of results, etc. should be adapted to the requirements and conditions of the system as a whole. These procedures can be standardized and optimized for at least routine research after adaptation.

When choosing a sampling procedure, especially when it comes to indicating both space and time and relevance, the information value has to be taken into account. Such assessments should be made for each type of contamination. At the same time, sampling intervals that determine the sampleness of the sample should be recorded as regular intervals of a single time scale (for example, monthly: 0.003 – 0.03 – 0.25 – 0.5 – 1.0 – 2.0 – 3.0 – 6.0 – 12.0). In order to determine the visibility of space in each case, it is necessary to conduct special investigations, since variations in space are difficult to establish and calculate in advance. The relevance of the samples can be evaluated under conditions of adequate knowledge of subsystem E and a clearly formulated problem. For example, indicators such as plants and animals can have a high degree of relevance if their contamination can be used to extrapolate the contamination of the environment.

The description of the analytical procedures should be carried out in detail, the details of the sample (the structure of the samples, the number of samples, the components studied, the working levels), the data of the standard analysis procedure (characteristic of the procedure, the limits of detection, the standard deviation of the method used, the impact of substances that are outsiders for this structure; requirements for time and cost).

The results must contain numeric data values, mean values, number of individual definitions. Since the quality of the results, despite the standardization of analytical procedures, is subject to the effects of random and systematic errors, the degree of which changes over time, it is necessary to monitor the quality of the results of the analysis at regular intervals.

In the analysis of information and quality control, particular attention should be paid to data that goes beyond a possible range or less than a given value. They need to be processed using special standard procedures. Research results indicate that data that does not fall into the most probable distribution area is largely the result of measurement errors, transitions and calculations, which are based on uncertainty in the evaluation and interpretation of data. Therefore, in order to increase the reliability of the system state of evaluation results at all stages of the collection, processing and analysis of information, it is necessary to widely apply methods of direct optimization based on the concept of optimal use of experimental data, hybrid monitoring and the selection of optimal models.

METHODOLOGY OF ANALYSIS OF TECHNOGENICALLY-HAZARDOUS ENGINEERING OBJECTS OF DRAINAGE SYSTEMS AND ADJACENT TERRITORIES. The system approach to the analysis of heavy technogenic accidents and their ecological consequences is aimed at the coordination and integration of the use of scientific research, the holistic coverage of the phenomena of interest, the deepening of the study of the mechanism of accidents, the development of emergency processes in space and time, the impact of the impressive factors of the accident on the environment. In this regard, a methodology for the analysis of technogenically hazardous drainage and adjacent areas has been developed, built on a hierarchical principle, consisting of blocks of analysis of accidents, examination of the consequences of accidents, a priori and a posteriori risk assessment, as well as the adoption of managerial decisions (Figure 2).

The purpose of this system of analysis is the formation of a set of alternatives to the emergence and development of accidents, risk assessment with the aid of a posterior distribution of accidents and the analysis of the reliability of cases with a given number of their occurrence and comparison with the a priori distribution. In doing so, the principles of interaction and interconnection of various risks are fulfilled.

The methodology allows to analyze the sources, conditions and circumstances of accidents and their development processes, as well as to assess their environmental impact for management decisions in order to minimize environmental impacts.

Technogenic pollution with sewage supplies huge losses to natural complexes and exacerbates the danger of environmental disasters. Since it is impossible to completely stop the flow of waste water and industrial waste into biocenoses, the question of biological regulation of anthropogenic loads

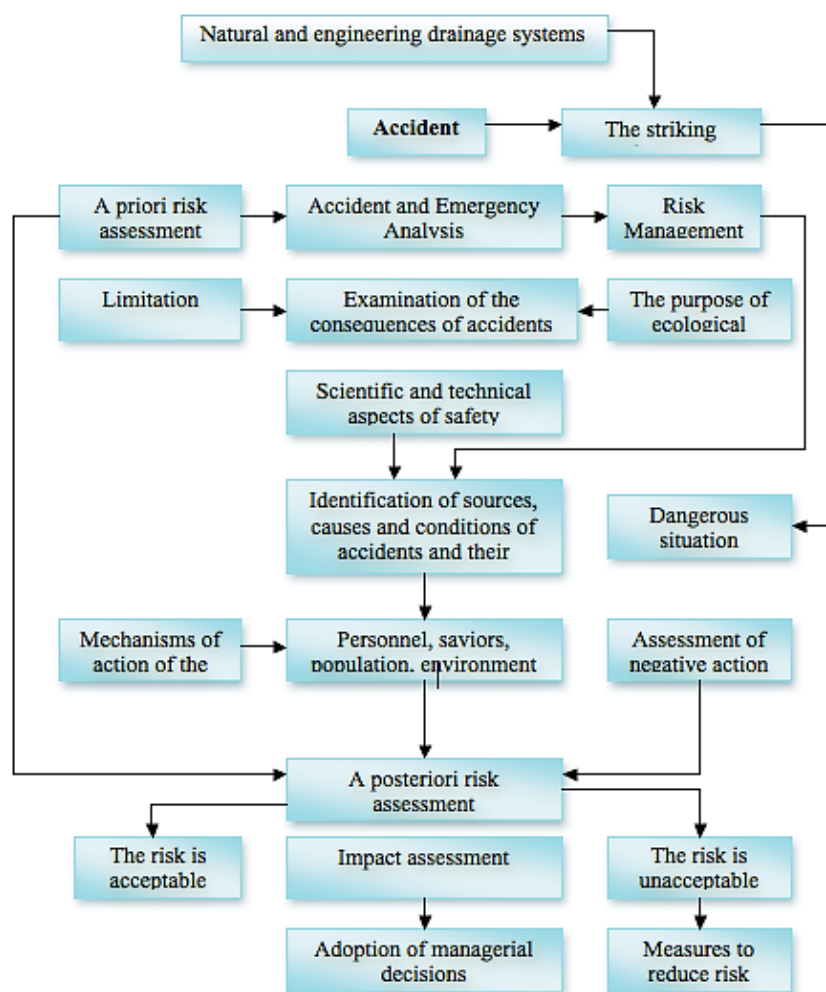


Figure 2 – Structural scheme of the methodology of analysis of technogenically hazardous objects and territories

becomes of particular urgency. Unfortunately, existing sanitary and hygienic standards are based solely on the priority of protecting human health and do not protect other objects of wildlife. However, environmental standards should ensure the conservation of populations of organisms, even assuming the death of individual individuals, and guarantee not only the well-being of natural complexes, but also without reducing the economic profitability of industrial enterprises in the region.

In solving the problems of environmental normalization, it is necessary to directly determine the norms of the biological system, which is a rather difficult task, since there are possibilities of functioning of systems of the superstructure level in several met stable states, as well as the performance of specific functions in higher-level systems. The most characteristic properties of biological systems are their ability to change the functional parameters in order to maintain the system in optimal conditions. Adaptation processes can take place at three levels: adaptive reactions in organisms, adaptive reactions of supers organism and adaptive microevolution.

One of the main tasks in the field of ecology is a comprehensive analysis of the consequences of man-made impacts on the components of the environment

and the responses to them in the biosphere, as well as an assessment of possible transformations that will allow decisions on the permissible levels of such impacts (Figure 3).

An information base in the form of a geographic information system is required to take into account the influence of man-made factors on ecosystems, the structural organization of which is shown in Figure 4. Here the ecological information system consists of two main units, the first of which is the database of environmental data, and the second is a database of knowledge about the processes occurring in the natural environment.

The system accumulates in itself characteristic of the region physical and physical-chemical parameters that characterize the soil, hydrological parameters, migration indicators of the components, hydrodynamic indicators, etc.

Implementation of the proposed monitoring system is also appropriate in emergency situations.

The Bioinformation Unit also contains relevant materials that reflect the distribution of plant communities within the considered territories, as well as the biocenose-forming potential of phytocoenoses. Thus, the relationship between the biotic and abiotic components of the biosphere, which corresponds

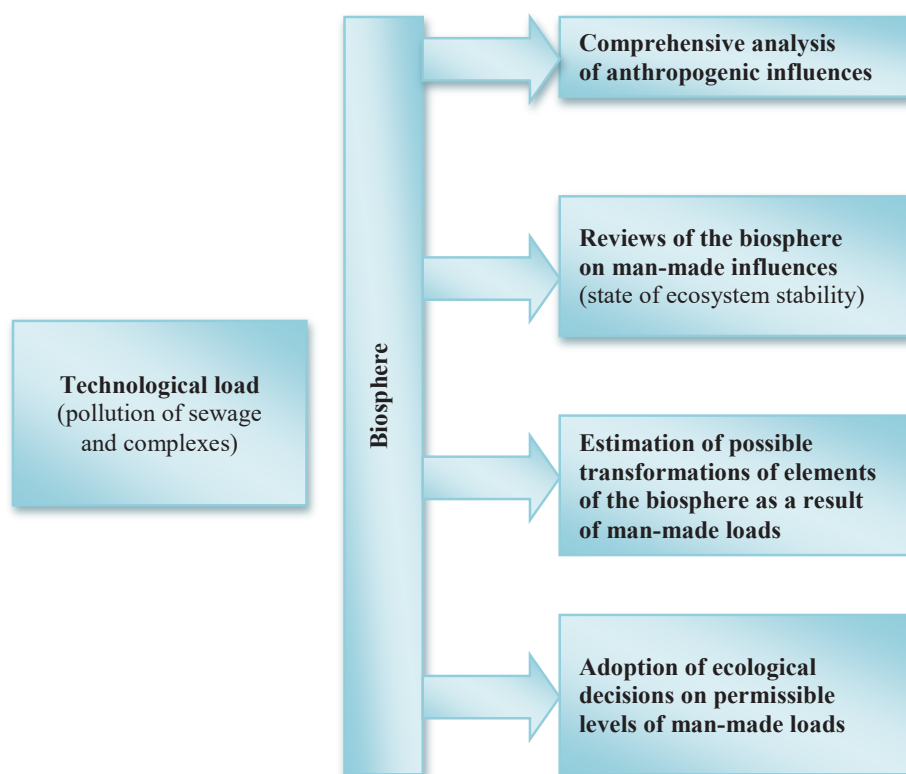


Figure 3 – Scheme of influence of technogenic factors on components of the biosphere

to the bioinformation and geoinformation blocks, which in turn constitute the information component of an expert system that has the following characteristics, is established with:

- the algorithm of solutions is constructed by the system itself with the help of plausible considerations and heuristics;
- system;
- “understanding” in terms of the user’s decision;
- is able to analyze and explain their actions and knowledge;
- is capable of gaining new knowledge from the user;
- provides communication of the natural language interface with the user.

Increasing the level of pollution of reservoirs due to the activity of industrial enterprises (including engineering systems for drainage) leads to problems in assessing the ecological status of reservoirs:

- clear zoning of the zones of the influence of various factors on the level of pollution, due to the availability of appropriate sources of pollution of the reservoir and topographical (landscape) features, and the effect of certain factors of self-cleaning, as well as measures aimed at improving the ecological state;
- the presence of a dynamic component of the ecological status of the reservoir in general and its individual landscapes, in particular, due to

seasonality, topography and the effect of external factors;

- steady growth of the ecological load on the reservoir;
- the dynamic nature of the spectrum of pollution, due to changes in technology, the closure and discovery of individual industries;
- manifestation in the effect of synergy.

Environmental monitoring of reservoirs should provide for the following tasks:

- identification of the actual state of the reservoir, including the range of toxic contaminants in water, atmosphere and soil, as well as taking into account the influence of synergy;
- analysis of the main sources of pollution in terms of their contribution to the ecology of the reservoir, including analysis of the impact on the reservoir of treatment facilities, industrial enterprises and metropolis, landfills and polygons, sources of electromagnetic radiation;
- district mapping, which reflects both the actual condition of the reservoir and the expected changes in the near or distant future, the identification of steady trends;
- certification of landscapes of a reservoir with separate emission:
 - a – stable parameters which do not exceed the established norms;
 - b – parameters that have come to the maximum allowable values;

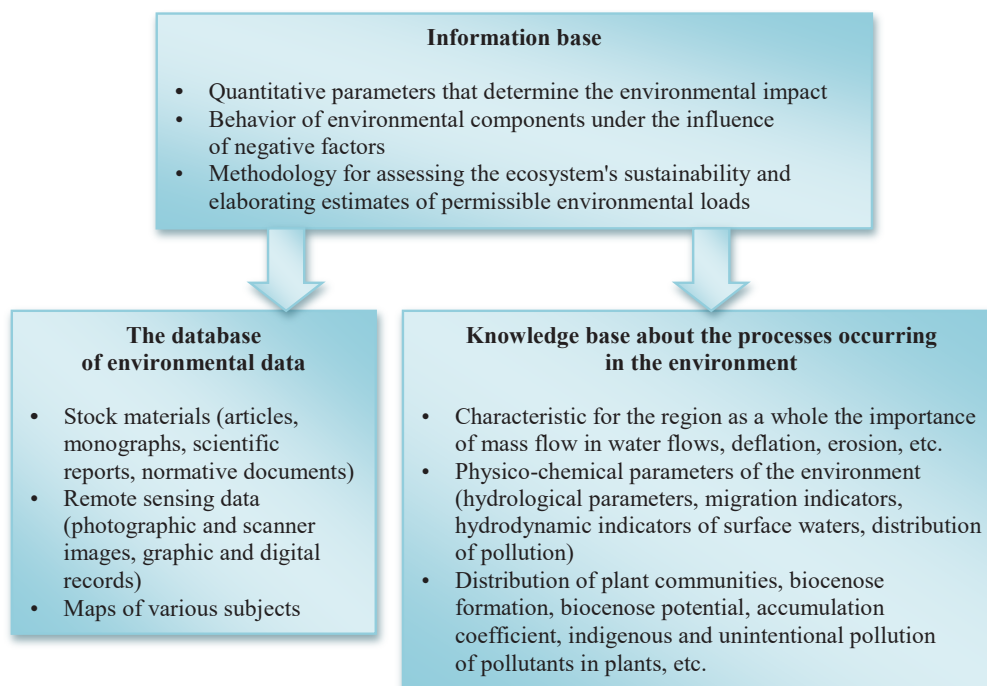


Figure 4 – Structural organization of ecological information system

in – parameters that went beyond the permissible limits;

g – parameters, each of which does not go beyond the permissible limits, but which form the combined effect (the effect of synergy), which exceeds the permissible values;

– processing (based on monitoring data) recommendations aimed at stabilizing or improving the status of the reservoir.

The procedure for assessing the status of a reservoir in terms of the impact on this state of a given facility for the treatment of sewage or industrial plant under normal operating conditions (taking into account the constant degradation of equipment, networks, etc.) and as a result of abnormal work (“design” accidents, peak loads, etc.), as well as in the event of widespread accidents and disasters, has two main problems:

– the ability to monitor the emissions of pollutants, their subsequent migration and metabolism, as well as other factors affecting the state of the ecosystem of the reservoir, on the one hand, and on the other – on its own state of the reservoir, its structure, functioning, as well as its trends structural and functional changes;

– the possibility of identifying the observed state or its trends with the corresponding (alternative) standards, the characteristics, reactions and consequences of which are known and there are corresponding alternative ways of transition from the actually formed metastable states to the desired stable.

The problem of observation involves obtaining information:

– the qualitative parameters of the reservoir for a certain period, their statistically average and extreme fluctuations during this period, as well as the results of simulation of the impact on the reservoir of the man-caused object for the entire life cycle of the man-made object under conditions of its normal exploitation, and, accordingly, the influence as a result of the design and hypothetical accidents;

– factors influencing qualitative indicators (dumping of pollutants in normal, abnormal and emergency modes, their distribution, secondary migration, metabolism, hydro and other conditions that facilitate or prevent the flow of processes that lead to changes in the state of the ecosystem);

– models of processes for changing the ecological status of the reservoir and the factors affecting these processes and conditions;

– heuristics that characterize outwardly weakly related or unclearly defined sets of pairs of “factors – states”.

In general, the problem of observation is characterized by indicators:

– that may be physical availability, the possibility of physical measurement or any other real observation of a parameter or factor; Logical-mathematical (if it is possible to calculate the value of a parameter or factor by means of a mathematical model), and availability in time, that is, the ability to measure or calculate a parameter or factor in a time that will not affect the timely assessment of the situation and the adoption of appropriate measures;

– sufficiency including completeness, that is, the exhaustiveness of the data, allowing an adequate assessment of the situation; an alternative, that is, the availability of such a number of sources of information that will allow an adequate assessment of the situation, even when data from some sources will not be received or will be distorted; the efficiency of information, that is, the timely receipt of data;

– including the reliability of the source data and the estimated probability of the results of data processing.

The identification problem is solved at three levels:

– identification of relevance, that is, a certain overwhelming (possibly mediocre, informal, fuzzy) connection with one or another type of standard;

– identification of conformance, that is, a certain rather transparent similarity of the standard;

– confirmation of the identity of the standard.

The above requires have special approach to monitoring the status of the reservoir. It should provide three modes of monitoring the state of the system:

– periodic collection and analysis of data reflecting the condition of the controlled area (including comparing current control data with those obtained at the previous stages of the control), as well as taking into account the factors that infused it at the time and affect the current stage of control both direct and indirect;

– causal control of the state due to the need to assess the impact of new (that is only planned) companies or sewage systems on the general condition of the reservoir, or to assess the actual impact of natural or man-made accidents;

– stochastic (selective) control of individual landscapes in order to check pre-established trends or the limits of actual fluctuation of environmental indicators.

CONCLUSION. The system approach to the analysis of heavy technogenic accidents and their ecological consequences is aimed at the coordination and integration of the use of scientific research,

the holistic coverage of the phenomena of interest, the deepening of the study of the mechanism of accidents, the development of emergency processes in space and time, the impact of the impressive factors of the accident on the environment. The developed methodology for the analysis of the toxic pollutions, including waste with hexamethylenediamine, is built on a hierarchical principle, consisting of blocks of analysis of accidents, examination of the consequences of accidents, a priori and a posteriori risk assessment, as well as the adoption of managerial decisions.

REFERENCES

1. Dhillon, B. (2002). Engineering maintenance: a modern approach. CRC PRESS LLC, N. W.
2. Yakunina, I. (2009). Methods and devices of environmental control. Environmental monitoring. Tambov, Russia : TSTU.
3. Safety Reports Series. Programmes and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring. Vienna : IAEA, 2010.
4. Baranova, O. (2012). Creation of automated system for environment pollution monitoring of rock dumps: materials of II International scientific and technical conference of students and young scientists "Information control systems and computer monitoring". Donetsk, Ukraine.
5. Yeremeyev, I., Dychko, A. (2014). Organization of environmental monitoring using fractal theory methods. Management of complex systems development.
6. Yeremeyev, I., Dychko, A., Remez, N., Kraychuk, S., Ostapchuk, N. (2021). Problems of sustainable development of ecosystems. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 628, No. 1 IOP Publishing, pp. 12–14.
7. Lytvynenko, V., Dychko, A. (2021). Efficiency of application of the microbiological method of waste water treatment to remove hexamethylenediamine, Environmental Problem. Volume 6, Number 1, pp. 28–32.
8. Safonyk, A., Tarhoni, I. (2019). Computer simulation of aerobic sewage treatment. Journal of Mechanical Engineering, 41 (5), pp. 31–36.
9. Lema, J., Suarez, S. (2017). Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies: Impacts on Energy, Economy and Environment. IWA Publishing. London.
10. Karadimos, N., Orsoni, A. (2006). The role of modelling and simulation in design-build projects, Proceedings of the 20th European Conference on Modelling and Simulation.
11. Tai, A., Alkalai, L., Chau, S. (1999). On-board preventive maintenance: a design-oriented analytic study for long-life applications, Performance Evaluation, 35, pp. 215–232.
12. Holling, C. (2001), Understanding the Complexity of Economic, Ecological and Social Systems. Ecosystems, 4, pp. 390–405.
13. Arlat, J., Kanoun, K., Laprie, J. (1990), Dependability modeling an evaluation of software-fault tolerant systems, IEEE Transactions on Computers. Special Issue on Fault-Tolerant Computing.

МЕРЕЖА ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ТОКСИЧНИХ ЗАБРУДНЮЮЧІВ В ЕКОСИСТЕМІ ДЛЯ СТАЛОГО СЕРЕДОВИЩА

Валерія Литвиненко

аспірант кафедри екології та технології рослинних полімерів

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна, valeriyalytvynenko18@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-4348-5832

Аліна Дичко

доктор технічних наук,

професор кафедри геоінженерії

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна, aodi@ukr.net;

ORCID: 0000-0003-4632-3203

Ігор Єремєєв

доктор технічних наук,

професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського, вул. Івана Кудрі, 33, Київ, 04000, Україна;

ORCID: 0000-0003-1968-0395

Екологічний моніторинг зони впливу забруднюючих речовин стічних вод нерозривно пов'язаний зі станом параметрів атмосферного повітря, що визначає кінцеві характеристики процесу. При цьому ця взаємодія має значний вплив на розвиток і функціонування, а також на довговічність рослинних компонентів екосистем. Підвищення точності та достовірності результатів моніторингу обумовлено економічними труднощами через високу вартість обладнання (сповіщувачів, каналів зв'язку, пристроїв мультиплексування, систем безпеки тощо). Метою дослідження є оптимізація вимірної моніторингової мережі токсичних забруднюючих речовин з урахуванням кількості та розташування детекторів забруднюючих речовин. Найпростіший розроблений метод заснований на врахуванні радіусу зони надійного виявлення, який залежить від сигнального порогу виявлення, який у свою чергу залежить від фонових забруднень та його коливань у контрольних місцях, відстані від джерела викидів, час опромінення детектора (або час обробки аналізу), рівень дій системи контролю, значення забруднення, досягнення яких повинно спрацювати сигналізацію для перевищення гранично допустимого значення забруднення), швидкість течії.

Системний підхід до аналізу важких техногенних аварій та їх екологічних наслідків спрямований на узгодження та інтеграцію використання наукових досліджень, цілісне висвітлення явищ, що представляють інтерес, поглиблення вивчення механізму аварій, розвиток аварійних процесів у просторі та часі, впливу вражаючих факторів аварії на навколишнє середовище. Розроблена методологія аналізу токсичних забруднень, у тому числі відходів з гексаметилендіаміном, побудована за ієрархічним принципом, що складається з блоків аналізу аварій, експертизи наслідків аварій, апріорної та апостеріорної оцінки ризику, а також прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: моніторинг, гексаметилендіамін, детектори забруднюючих речовин, система контролю, законодавчо-адміністративна підсистема, екологічна інформаційна система.

Стаття надійшла 09.02.2022

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В УНІВЕРСИТЕТАХ ПІД ЧАС ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

Сергій Близнюк

викладач кафедри математичного моделювання

ПВНЗ «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука»,
вул. академіка Степана Дем'янчука, 4, Рівне, Україна, 33024;

ORCID: 0000-0002-4363-3524

Олег Онофрійчук

кандидат економічних наук,

старший викладач кафедри економіки та фінансів

ПВНЗ «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука»,
вул. академіка Степана Дем'янчука, 4, Рівне, Україна, 33024;

ORCID: 0000-0001-6495-2973

Акцентовано увагу на трактуванні поняття «інформаційна безпека». Визначено потенційні загрози можливості швидкого обміну інформацією, здобуття нових знань за допомогою нових інформаційних технологій, розвитку соціальних та індивідуальних форм творчості. Наголошено, що в умовах прямої військової агресії з боку Російської Федерації, активне поширення державо-агресором дезінформації, викривлення відомостей, а також виправдовування або заперечення збройної агресії Російської Федерації проти України, впроваджено реалізацію єдиної інформаційної політики. Виокремлено проблеми інформаційної безпеки в сучасних українських університетах: пріоритезація безпеки для відповідності нормативним вимогам, інерція заважає університетам успішно вирішувати проблеми комп'ютерної безпеки, приховування проблем інформаційної безпеки від громадськості, демонстрація комплексної бюрократії рентабельності інвестицій, відсутність узгоджених стратегій. Відзначено, що для вирішення проблеми безпеки, університетам потрібні безпечні комунікаційні рішення. Вказано на важливість інформаційної безпеки в соціальних мережах – Instagram, Viber, Telegram. Виокремлено основні правила інформаційної безпеки в соціальних мережах. Зазначено як одну з ключових загроз інформаційної безпеки – студенти продовжують ділитися обліковими даними. Акцентовано увагу на необхідності запобігання одночасному входу, що робить користувачів відповідальними за будь-які незаконні дії, які вони вживають. Вказано, що викладачі, співробітники та студенти мають бути підключені до мережі по-різному. Відзначено, що комп'ютерне забезпечення повинно постійно відстежує всі події входу та сеанси, автоматично застосовуючи спеціальні політики. Зазначено проблему надання дозволу студентам і співробітникам використовувати свої власні пристрої, що збільшує шанси небезпечних інформаційних дій.

Ключові слова: військовий стан, вища освіта, пропаганда, електронна пошта, кодування, освітній простір.

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Деструктивні та дестабілізуючі інформаційні впливи загрожують насамперед вразливим елементам освітньої системи. У той же час цілеспрямовані та регулярні інформаційні атаки часто створюють середовище, сприятливе для поглинання, коли суб'єкти стають дезорієнтованими та безпорадними споживачами. Суспільство та кожен громадянин якої всі роки незалежності перебували під агресивним впливом різноманітних суб'єктів інформаційного простору, як внутрішнього, так і зовнішнього. Для України питання інформаційної безпеки стало особливо актуальним у зв'язку з г війною, яку веде Росія в останні роки. Іншою важливою причиною актуалізації питання інформаційної безпеки є те, що лише

університети з розвиненою інформаційною інфраструктурою здатні стати конкурентоспроможним суб'єктом у сучасному міжнародному глобальному освітньому середовищі. У зв'язку з цим важливим аспектом дослідження різноманітних вимірів інформаційної безпеки є визначення рівня інформатизації освітнього простору українських університетів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ. Незважаючи на значну кількість наукових досліджень, присвячених проблематиці забезпечення інформаційної безпеки в Україні, обрана проблематика є новою та потребує детального вивчення. При написанні статті були враховані напрацювання ряду науковців: Аносова А. О., Бржезької З. М., Гайдур Г. І., Довженко Н. М., Захаренко К. В., Золотар О. О..

Кальниш В. В., Киричка Р. В., Ліщинської О. А., Петрик В. М., Хворост Х. Ю.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ – проаналізувати особливості забезпечення інформаційної безпеки в університетах під час військового стану.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ. Категорія інформаційної безпеки розглядається як така, що має глобальний характер, а тому потребує аналізу в системі глобального інформаційного простору. Визначивши основні переваги та ризики інтенсифікації передачі та руху інформації в комунікаційному просторі та в умовах інформаційної революції, варто відзначити неможливість повноцінного використання нових переваг в інформаційному суспільстві без забезпечення належного рівня інформаційної безпеки [6].

Можливості швидкого обміну інформацією, здобуття нових знань за допомогою нових інформаційних технологій, розвитку соціальних та індивідуальних форм творчості на основі оперування великими обсягами інформації можуть нівелюватися через неналежне або злочинне використання нових технологій для нав'ювання, маніпулювання та інформаційного саботажу. Одним із ключових завдань сучасної науки є пошук адекватних шляхів глобального стійкого балансу між розвитком інформаційних технологій та вдосконаленням механізмів інформаційної безпеки. Саме глобальність інформаційної цивілізації, через яку люди та суспільство стикаються з додатковими викликами та загрозами інформаційній безпеці, змінює сучасні науково-практичні підходи до неї [2].

Враховуючи основні деструктивні зовнішні та внутрішні інформаційні впливи як основні джерела загострення інформаційної небезпеки, варто відзначити їх особливу гостроту. Сьогодні держава чи заклад вищої освіти не в змозі адекватно відповісти на виклики, які ставить перед собою глобальний інформаційний простір. Але якщо провідні держави зможуть зайняти активну позицію в цьому просторі, то такі трансформаційні суспільства в умовах військового стану, як Україна, автоматично стануть об'єктами інформаційної агресії.

В умовах військового часу та з врахуванням того, що формуються основи демократичної державності та громадянського суспільства, протистояти зовнішнім і внутрішнім деструктивним інформаційним впливам можна лише на основі досвіду та ресурсно-технологічної допомоги більш значущих суб'єктів сучасного інформаційного простору [4].

Ураховуючи пряму військову агресію з боку Російської Федерації, активне поширення державою-агресором дезінформації, викривлення відомостей, а також виправдовування або заперечення збройної агресії Російської Федерації проти України, з метою донесення правди про війну, забезпечення єдиної інформаційної політики в період дії в Україні правового режиму воєнного стану, встановлено, що в умовах воєнного стану реалізація єдиної інформаційної політики є пріоритетним питанням національної безпеки [5].

Можна виокремити ряд проблем інформаційної безпеки в сучасних українських університетах [7]:

1. Приоритезація безпеки для відповідності нормативним вимогам. Університети – це складні організації, поділені на кілька корпорацій, кожна зі своїми власними вимогами законодавства та проблемами безпеки. Університет зобов'язаний захищати такі дані, як оцінки, результати тестів та інформацію про стан здоров'я.

2. Інерція заважає університетам успішно вирішувати проблеми комп'ютерної безпеки. Один із парадоксів усвідомлення кібербезпеки полягає в тому, що знання не обов'язково перетворюються на дії. Багато університетів усвідомлюють проблеми безпеки, з якими вони стикаються, і наслідки порушень, але відкладають це, оскільки проблеми здаються нездоланими. Кардинальна перебудова кібербезпеки не є швидким або недорогим процесом, і з усіма проблемами управління університетом може легко піддатися інерції.

Трагедія цього полягає в тому, що більшість університетів можуть легко покращити кібербезпеку за допомогою поступового підходу. Зміни з низькими інвестиціями, як-от запровадження безпечного рішення електронної пошти, дозволяють університетам майже миттєво знизити ризики з дуже незначними змінами та невеликою кількістю навчання. Ці основні зміни також дуже легко масштабувати. Просте запровадивши шифрування електронної пошти дозволить університету розпочати вирішувати проблеми безпеки організації в цілому.

3. Приховування проблем інформаційної безпеки від громадськості. Серйозне порушення може призвести до дорогих штрафів, планів виправлення та судових позовів. У разі серйозного порушення університет може витримати місяці або навіть роки негативних відгуків у ЗМІ [7].

Університети часто мають спокусу закрити свої проблеми безпеки від громадськості. Однак

це фактично робить порушення ще більшою шкодою для репутації закладу. Якщо є можливість продемонструвати, що університет вживає всі можливі заходи для захисту студентів, викладачів і співробітників, громадськість звинуватиме працівників, які спричинили порушення.

4. Демонстрація комплексної бюрократії рентабельності інвестицій. У міру того, як університети стають все більше схожими на бізнес, вони стикаються з все більшими проблемами безпеки, які властиві бізнес-структурам. Організації, як правило, ігнорують або недофінансують ініціативи з IT-безпеки, оскільки історично було важко провести конкретну, вимірну рентабельність інвестицій. При цьому неможливо точно дізнатися, коли зловмисний хакер або інсайдерська загроза зашкодять інформаційним базам, чи скільки шкоди вони завдають.

Варто відзначити позитивну тенденцію зростання кількості досліджень, які демонструють рентабельність інвестицій від вирішення проблем безпеки університету [7].

5. Відсутність узгоджених стратегій. В університеті кожен має власну думку. Як і в будь-якій організації, керівництво має свої власні погляди на речі, які можуть не відповідати IT-безпеці. Можуть обирати безпечні рішення для електронної пошти, які не відповідають потребам кінцевих користувачів, або, з іншого боку, обирати зручні додатки з недоліками безпеки, які вони не розуміють. Різні факультети також можуть мати різні пріоритети та наполегливо намагатися вибрати безпечні комунікаційні рішення.

Проблема в тому, що набагато важче протистояти проблемам безпеки без узгодженої стратегії в масштабі всієї організації – особливо для комунікаційних рішень, таких як безпечна електронна пошта та база даних. Відділи повинні мати можливість безпечно спілкуватися один з одним, а також з іншими зацікавленими сторонами – такими як студенти, батьки та підрядники – що вони не можуть зробити, якщо кожен має інший безпечний інструмент електронної пошти.

Крім того, багато рішень безпеки недостатньо зручні для повсякденного спілкування. Якщо співробітник фінансового відділу повинен зв'язатися зі студентом з питань оформлення необхідних документів чи проведення оплати за навчання, то в більшості випадків буде надіслано незашифрований електронний лист, ризикуючи безпекою.

Щоб вирішувати проблеми безпеки, університетам потрібні безпечні комунікаційні рішення,

які є легкими, зручними та здатними встановлювати комунікаційні зв'язки з усіма зацікавленими сторонами – навіть з тими, хто не хоче встановлювати програму [1].

Інформаційна безпека в соціальних мережах – Instagram, Viber, Telegram активно обговорюється на тренінгах, які організують викладачі університетів для своїх колег та студентів. При цьому головний акцент здійснюється на забезпеченні конфіденційності та безпеки їхніх сторінок у соціальних мережах. Акцентовано увагу на месенджерах Viber, Telegram, які стали популярними для розгортання російської інформаційної пропаганди.

У цьому контексті необхідно звернути увагу учасників онлайн-тренінгу на основні правила інформаційної безпеки в соціальних мережах [3]:

- налаштувати конфіденційність;
- ділитися конфіденційною інформацією лише з тими, кому довіряєте;
- використовувати «зникаючі повідомлення»;
- нікому не надавати SMS-коди підтвердження;
- переглядати історію чатів і членство в групах;
- скажитися на контакти, які здаються шахрайськими.

Досягнення балансу між відкритою, але безпечною мережею залишається проблемою для всіх IT-відділів університетів. Ці ускладнення призвели до деяких вражаючих порушень даних. Найкращий спосіб для університетів впоратися з такими мережевими порушеннями – це запровадити добре продуману систему контролю доступу до мережі та управління ідентифікацією.

Незважаючи на освіту та підвищену обізнаність, студенти продовжують ділитися обліковими даними, оскільки це не впливає на їхній власний доступ до мережі. Серйозні недоліки безпеки можна зупинити, запобігаючи одночасним заняттям і обмежуючи студентів лише одним можливим підключенням до Windows у кожному окремому випадку. Це зупиняє несанкціонованих користувачів безперешкодно використовувати дійсні облікові дані одночасно з законним власником [2].

Запобігання одночасному входу також робить законних користувачів відповідальними за будь-які незаконні дії, які вони вживають – чи то студентські витівки, чи більш серйозні інсайдерські атаки. Це забезпечує доступ до критичних активів установ, які приписуються одній особі, уникаючи ситуацій, що стосуються підзвітності

та невідмовності. Політики та процедури можна буде послідовно застосовувати для усунення порушень, які дійсно мають місце.

Викладачі, співробітники та студенти мають бути підключені до мережі по-різному, щоб рівень доступу відповідав ролі кожної людини в академічній установі. Крім того, приїжджі викладачі, викладачі та студенти мають бути забезпечені окремо, щоб гарантувати, що їх доступ буде припинено після їхнього від'їзду. Контроль входу користувачів відповідно до користувачів, груп користувачів або організаційних підрозділів є першою лінією захисту для мережі Windows, і права входу повинні (і можуть) надаватися залежно від ролі користувача в організації. Такі обмеження також мають враховувати інші критерії, такі як робоча станція або пристрій (включаючи персональні пристрої), час, години роботи та тип сеансу (включаючи Wi-Fi та VPN).

Наприклад, студент, який зумів отримати облікові дані викладача, зможе отримати доступ до конфіденційної інформації (екзаменаційні запитання, результати тощо) з будь-якої робочої станції в мережі. Однак є спеціалізовані ІТ сервіси (наприклад, UserLock), які зупинять зловживання обліковим записом, дозволивши адміністратору визначати для кожного користувача та групу користувачів робочі станції, які вони можуть або не можуть використовувати. Таким чином, студент не зможе увійти за допомогою облікових даних викладача з кімнати, обладнаної робочими станціями з вільним доступом [7].

Таким же чином можна обмежити доступ до адміністративних робочих місць (бухгалтерії, фінансів тощо) із визначених робочих місць або заздалегідь визначеного набору робочих місць (наприклад, у відділі бухгалтерії, конкретної будівлі тощо).

UserLock дозволяє впроваджувати та суворо застосовувати політику контролю доступу користувачів за допомогою входу користувачів. Є можливість контролювати, коли, де і як довго користувачі мають доступ до ресурсів.

Комп'ютерне забезпечення повинно постійно відстежувати всі події входу та сеанси, автоматично застосовуючи спеціальні політики для запобігання або заборони входу, доступу до робочої станції та часу використання / підключення.

У разі виявлення ненормальної або підозрілої поведінки на робочій станції дозволить адміністратору віддалено відключити користувача або заблокувати сеанс із центральної консолі або будь-якого комп'ютера в мережі.

Дозволяючи студентам і співробітникам використовувати свої власні пристрої – і, отже, ненадійні пристрої – доступ до ресурсів організації перебуває в зоні небезпеки. Оскільки UserLock захищає доступ до мережі до всіх типів сеансів, включаючи Wi-Fi, це дозволяє організації контролювати свої бездротові мережі та забезпечує безпеку для використання власних пристроїв [9].

Веб-інтерфейс дозволяє делегувати адміністративні права не-ІТ-менеджменту (наприклад, викладачам, керівникам тощо) для підгрупи робочих станцій (наприклад, систем у кімнаті, поверсі, будівлі), що дозволяє здійснювати нагляд та керування (наприклад, закрити або розблокувати сеанс на робочих станціях).

Пропонуючи цей рівень адміністрування, програма надає обмежені права наглядчика для не-ІТ-персоналу, який керує користувачами, не надаючи їм доступу до більш важливих налаштувань програмного забезпечення, зарезервованих для ІТ-адміністраторів.

Система сповіщень може допомогти надати чітке та послідовне повідомлення про політику безпеки ІТ. Чітке повідомлення про юридичні наслідки допомагає зменшити ймовірність того, що студенти ненавмисно вчинять злочин або накинуться на уявну несправедливість.

За допомогою такого програмного забезпечення деякі з потенційних сценаріїв, які тепер можна запобігти, включають:

- справжні, але скомпрометовані логіни від експлуатованих користувачів тепер марні для зловмисних інсайдерів або потенційних зловмисників;
- є можливість запобігти необережній поведінці користувачів, як-от обмін паролями, спільні робочі станції, залишені розблокованими або вхід на кілька комп'ютерів одночасно;
- доступ до будь-яких даних / ресурсів тепер завжди можна ідентифікувати та приписувати окремому користувачеві. Ця підзвітність відлякує інсайдерів від зловмисних дій і робить усіх користувачів більш обережними у своїх діях;
- підозріла активність позначається прапорцем і дає ІТ-відділам можливість миттєво відреагувати [8].

Користувачі можуть отримувати сповіщення за допомогою спеціально розроблених повідомлень і сповіщень, включаючи сповіщення про їхній власний довірений доступ. Інформовані співробітники – це ще одна лінія захисту у безпечі мереж університету.

ВИСНОВКИ. Освітнє середовище часто важче забезпечити інформаційну безпеку, ніж у звичайних компаніях чи організаціях. Традиційна культура освіти сприяє вільному обміну ідеями та миттєвому доступу до інформації, що сприяє академічній місії та цілям будь-якого університету. ІТ-команди повинні знайти відповідний спосіб збалансувати ці значення доступу, які визначають освіту, одночасно захищаючи дані та інформаційні системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бржезьська З. М., Довженко Н. М., Киричок Р. В., Гайдур Г. І., Аносов А. О. Інформаційні війни: проблеми, загрози та протидія. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2019. № 3 (3). С. 88–96.
2. Захаренко К. В. Інституційний Вимір Інформаційної Безпеки України: Трансформаційні Виклики, Глобальні Контексти, Стратегічні орієнтири. Дис. Київ : Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2021. 423 с.
3. Золотар О. О. Особливості інформаційної безпеки людини в умовах гібридної війни. *Інформація і право*. 2017. № 3 (22). С. 124–131.
4. Петрик В. М., Ліщинська О. А., Кальниш В. В. Соціально-правові основи інформаційної безпеки. Київ, 2006. 263 с.
5. Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 18 березня 2022 року «Щодо реалізації єдиної інформаційної політики в умовах воєнного стану». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0004525-22#Text>
6. Хворост Х. Ю. Інформаційно-психологічний вплив у розрізі безпеки здоров'я. *Наука і освіта*. 2016. № 2–3. С. 184–191.
7. McDonald R. 5 Information Security Challenges All Universities Face. URL: <https://www.virtu.com/blog/security-challenges/>
8. Network security in Universities, Colleges and Schools. URL: <https://www.isdecisions.com/blog/it-management/network-security-in-universities-colleges-and-schools/>
9. Why is Information Security important? URL: <https://www.plymouth.ac.uk/students-and-family/governance/information-governance/information-security>

ENSURING OF THE INFORMATION SECURITY IN UNIVERSITIES DURING THE MARTIAL LAW

Serhii Blizniuk

Lecturer at the Department of Mathematical Modeling

Academician Stepan Demyanchuk International University of Economics and Humanities, 4 Academician Stepan Demianchuk str., Rivne, Ukraine, 33024;

ORCID: 0000-0002-4363-3524

Oleh Onofriychuk

PhD in Economics, Senior Lecturer at the Department of Economics and Finance

Academician Stepan Demyanchuk International University of Economics and Humanities, 4 Academician Stepan Demianchuk str., Rivne, Ukraine, 33024;

ORCID: 0000-0001-6495-2973

Emphasis is placed on the interpretation of the concept of “information security”. Potential threats to the possibility of rapid exchange of information, acquisition of new knowledge through new information technologies, development of social and individual forms of creativity have been identified. It was emphasized that in the conditions of direct military aggression by the Russian Federation, active dissemination of disinformation by the aggressor state, distortion of information, as well as justification or denial of armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, the unified information policy was implemented. The problems of information security in modern Ukrainian universities are highlighted. Among them are priority of security for compliance with regulatory requirements; inertia prevents universities from successfully solving computer security problems; hiding information security problems from the public; demonstration of complex bureaucracy of return on investment; and lack of agreed strategies. It is noted that to solve the problem of security, universities need secure communication solutions. The importance of information security in social networks – Instagram, Viber, Telegram, is emphasized. The basic rules of information security in social networks are highlighted. It is mentioned as one of the key threats to information security, that students continue to share credentials. Emphasis is placed on the need to prevent simultaneous sign-in, which makes users responsible for any illegal actions they take. It is stated that teachers, staff and students should be connected to the network in different ways. It is noted that computer software must constantly monitor all logon events and sessions, automatically applying special policies. The problem of allowing students and staff to use their own devices is mentioned as the one, which increases the chances of dangerous information actions.

Key words: martial law, higher education, propaganda, Email, coding, educational space.

REFERENCES

1. Brzhevska, Z. M., Dovzhenko, N. M., Kyrychok, R. V., Haidur, H. I., Anosov, A. O. (2019) Informatsiini viiny: problemy, zahrozy ta protydiia [Information wars: problems, threats and counteraction] *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika*. Vol. 3 (3). P. 88–96. [in Ukrainian]
2. Zakharenko, K. V. (2021) Instytutysiinyi Vymir Informatsiinoi Bezpeky Ukrainy: Transformatsiini Vyklyky, Hlobalni Konteksty, Stratehichni oriiientyry [Institutional Dimension of Information Security of Ukraine: Transformational Challenges, Global Contexts, Strategic Guidelines] : Dys. Kyiv : Natsionalnyi pedahohichnyi universytet imeni M. P. Drahomanova, Lvivskyi natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka. 423 p. [in Ukrainian]
3. Zolotar, O. O. (2017) Osoblyvosti informatsiinoi bezpeky liudyny v umovakh hibrydnoi viiny [Features of human information security in a hybrid war]. *Informatsiia i pravo*, № 3 (22). P. 124–131. [in Ukrainian]
4. Petryk, V. M., Lishchynska, O. A., Kalnysh, V. V. (2006) Sotsialno-pravovi osnovy informatsiinoi bezpeky [Socio-legal bases of information security]. Kyiv. 263 p. [in Ukrainian]
5. Rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 18 bereznia 2022 roku “Shchodo realizatsii yedynoi informatsiinoi polityky v umovakh voiennoho stanu” [Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of March 18, 2022 “On the implementation of a unified information policy in martial law”]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0004525-22#Text> [in Ukrainian]
6. Khvorost, Kh. Iu. (2016) Informatsiino-psykholohichni vplyv u rozrizi bezpeky zdorovia [Information and psychological impact in terms of health security]. *Nauka i osvita*. № 2–3. P. 184–191. [in Ukrainian]
7. McDonald, R. 5 information Security Challenges All Universities Face. URL: <https://www.virtu.com/blog/security-challenges/> (in English).
8. NetworksecurityinUniversities, Colleges and Schools. URL: <https://www.isdecisions.com/blog/it-management/network-security-in-universities-colleges-and-schools/>
9. Why is Information Security important? URL: <https://www.plymouth.ac.uk/students-and-family/governance/information-governance/information-security>

Стаття надійшла 17.02.2022

ЗАДАЧА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ КЕРУВАННІ ПРОЄКТАМИ У МУНІЦИПАЛЬНІЙ СФЕРІ ТА ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ КАРТ

Денис Васильєв

аспірант кафедри автоматизації та інформаційних систем

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, mjden710@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-4330-0359

Ігор Шевченко

професор кафедри автоматизації та інформаційних систем

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, ius.shevchenko@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-3009-8611

Ефективне управління проєктами можливо лише за допомогою відповідних інформаційних технологій підтримки прийняття рішень. Важливим аспектом створення таких технологій є вибір моделі, за допомогою якої можна вирішувати одразу декілька задач, а саме – узгодження оцінок стану проєкту, моделювання впливу певних факторів з метою прогнозування, пошук оптимальних управлінських рішень як сукупності впливових факторів. Усім цим вимогам відповідає нечітка когнітивна карта. Але ефективне застосування цієї моделі можливо у тому випадку, якщо буде вирішено такі проблеми, як забезпечення стійкості результатів розрахунку при будь-якому змісті матриці зв'язків, а також прибирання шумових взаємних впливів факторів без фатального порушення бізнес-логіки проєкту. Метою роботи є обґрунтування застосування нечітких когнітивних карт при створенні інформаційної технології керування організаційними процесами у муніципальній сфері в умовах невизначеності та ризику.

Сформульовано вимоги до інструментального засобу, а саме: інструментальна система повинна мати засоби спільної логічної та функціональної обробки, що дозволяє вирішувати як логічні, так і розрахункові задачі; система повинна враховувати багато-альтернативність вирішення завдань та залежно від вимог вибирати або раціональний варіант вирішення, або симбіоз різних варіантів з метою підвищення рівня достовірності результатів; інструментальна система має бути придатною на вирішення як прямих, і зворотних завдань.

Створено формальну постановку загального класу задач, що пов'язані з розробкою інструментального засобу підтримки прийняття рішень у процесі управління проєктами.

Формалізовано задачу формування класів станів керованої системи, яка поставлена як задача класифікації на зваженій структурі – графі, який слугує для подання даних і знань про об'єкт. Тим самим обґрунтовано застосування нечітких когнітивних карт для моніторингу, прогнозування та оптимізації управлінських рішень при керуванні проєктами.

Все це сприяє виконанню основного завдання – розробці інформаційної технології підтримки прийняття рішень в організаційних процесах управління проєктами та програмами у муніципальних органах та підприємствах.

Ключові слова: муніципальна сфера, проєкти, прийняття рішень, нечітка когнітивна карта, проблеми застосування, формалізація задач.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Розробка та реалізація проєктів у муніципальній сфері пов'язана з різноманітними ризиками щодо строків, обсягів фінансування та якості виконання. З іншого боку, кожен етап проєкту може бути виконаний різними способами, з різними витратами і, відповідно, втратами. Отже, вирішення будь-яких управлінських завдань може мати багато-альтернативний характер, що полягає в наявності деякої множини шляхів досягнення цільової ситуації.

Однак прагматична мета виділення безлічі варіантів вирішення задачі полягає у виборі оптимального варіанту рішення, якій задовольняє вимогам особи, що приймає рішення (ОПР). Це пояснюється тим, що кінцевий результат не залежить прямо від варіанту рішення.

Появу ризику необхідно розглядати разом з проблемою невизначеності (неточності, недостовірності, ненадійності) знань про умови та процеси, які відбуваються в об'єкті та зовніш-

ньому середовищі, з імовірнісним характером виникнення небажаних подій [1]. Під невизначеністю далі розуміється стан неоднозначності розвитку подій в майбутньому, стан незнання і неможливості точного передбачення основних величин і показників розвитку деякого проекту. Невизначеність передбачає наявність факторів, при яких результати дій не є детермінованими, а ступінь можливого впливу цих факторів на результати невідома. В умовах такої невизначеності зацікавлені особи зобов'язані контролювати ситуацію та прогнозувати ризики в процесі реалізації проекту.

Інструментом, який дозволяє оцінювати очікувані ризики в умовах невизначеності, зазвичай є математичний апарат теорії нечітких множин [2]. Але апарат нечітких множин та нечіткої логіки не завжди допомагає визначити множину зв'язків між окремими факторами та відстежувати динаміку розвитку подій на керованому об'єкті. До того ж, при розв'язанні задачі прийняття рішення важливо аналізувати кожен з можливих варіантів досягнення цільової ситуації, тому що при симбіозі альтернативних варіантів можлива зміна характеристик ситуацій, наприклад, апостеріорна оцінка ступеня прояву ситуації. При цьому особа що приймає рішення (ОПР) повинна також враховувати силу впливу кожного фактора на інший фактор, а ці впливи можуть змінюватися у процесі розвитку подій.

У зв'язку з цим, враховуючи всі-можливі варіанти досягнення певної ситуації, можна значно змінити результат вирішення поставленого завдання. На цьому шляху необхідно застосовувати відповідні інформаційні технології, які мають забезпечити моніторинг процесу виконання проекту та підтримку прийняття управлінських рішень. Тому тема роботи є актуальною.

В роботах [3], [4], [5] аналізуються методи керування проектами, які зазвичай застосовуються у різних галузях. Зрозуміло, що ці методи містять елементи моніторингу робочих процесів, виявлення протиріч та конфліктних ситуацій, урахування та зняття ризиків. Ці методи створені на базі практичного досвіду менеджерів.

Роботу [6] присвячено аналізу математичних моделей керування проектами, таких як традиційні мережеві, які дозволяють визначити мінімальний час виконання з урахуванням обмежень на ресурси. Розглянуто застосування марківських моделей у мережах з ймовірнісними гілками. Тобто такі моделі дають змогу урахувати невизначеність умов у процесі прийняття управлін-

ських рішень. Причому кожен з варіантів рішень має, як правило, свої привабливі сторони. Порівняння переваг і недоліків різних варіантів, їх оцінок за різними критеріями – складне завдання для ОПР [7], [8]. Отже, невизначеність і багато-критеріальність – основні труднощі при виборі рішень.

Серед моделей, які застосовуються для підтримки прийняття рішень особливе місце займають так звані нечіткі когнітивні карти (НKK) [9]. Це обумовлено властивостями НKK, які, по перше, дають змогу наочного уявлення взаємозв'язків факторів що впливають і, по друге, дозволяють дослідити, як впливає зміна оцінки певного фактору на інші фактори та загальну картину у досліджуваному процесі. Саме тому ми зосереджуємось на цій моделі.

Метою нашої роботи є створення концептуальних передумов ефективного використання нечітких когнітивних карт з урахуванням деяких невіршених проблем їх застосування. Для досягнення цієї мети потрібно, по перше, формалізувати задачу застосування НKK у керуванні проектами, а по друге – визначити проблеми, які потрібно розв'язати, для ефективного застосування НKK.

Матеріал і результати досліджень. Як відомо, існують такі етапи процесу керування проектом [3], [4]:

1. Ініціювати проект:
 - чітко сформулювати цілі проекту;
 - визначити головного замовника проекту, куратора проекту, визначити всіх основних зацікавлених осіб;
 - визначити виконавців та відповідних виконавців;
 - призначити керівника проекту.
2. Спланувати проект (спочатку укрупнено, потім детально):
 - провести декомпозицію цілей та очікуваних результатів, які необхідно отримати та роботи, які потрібно для цього виконати;
 - визначити вимоги до результатів проекту;
 - визначити необхідні ресурси для виконання робіт (люди, обладнання, матеріали), їх вартість та джерело придбання;
 - встановити зв'язок між етапами та роботами та їх тривалість, створити базовий план виконання проекту;
 - визначити ризики проекту;
 - спираючись на наявну інформацію визначити загальний базовий бюджет;
 - сформувати проектну групу, розподілити відповідальність серед її членів;

– визначити, як відбуватиметься обмін інформацією у проєкті;

– узгодити заходи, якщо щось змінюється.

3. Виконувати та контролювати проєкт:

– виконувати, що заплановано та контролювати результат на відповідність вимогам (моніторинг);

– за необхідності проводити перепланування; прийняти результати (продукт проєкту).

4. Формально завершити проєкт:

– підписати усі необхідні документи;

– преміювати та розпустити та команду;

– підбити підсумки проєкту та сформувати архів.

Ця послідовність кроків досить універсальна і може бути застосована до будь-якої предметної області.

Аналізуючи зміст цих етапів з точки зору комп'ютерних технологій, можна зробити висновок що при керуванні проєктами існує два аспекти або дві задачі: пряма задача (моделювання перебігу процесів, розпізнавання ситуації) і зворотна задача – пошук сукупності таких значень факторів, при яких можна досягнути рішення цільової задачі. При цьому раціональний процес прийняття рішення передбачає виділення деяких закономірностей: причинно-наслідкових, просторових, часових та кількісних. Необхідно також враховувати наявність умовних та контрольованих функціональних відносин, істинність яких визначається у процесі вирішення цих задач. Для формалізації аналізованого класу завдань зазначимо:

– вважати цільовою ситуацією множини значень предметних змінних, стан яких необхідно визначити; так, наприклад, нехай проблемне завдання полягає у визначенні значень параметрів деякого об'єкта, тоді цільова ситуація може бути представлена так:

$$Val(X_1, x_1) \cap Val(X_2, x_2) \cap \dots \cap Val(X_k, x_k) \cap \dots \cap Val(X_N, x_N), \quad (1)$$

де X_k – найменування параметрів; $Val(X, x)$ – відношення «параметр X має значення x »;

– вважати термінальними ознаками множини предметних змінних, значення яких визначені, наприклад,

$$Val(X_1, 1.2) \cap Val(X_2, 0.46) \cap \dots \cap Val(X_k, 12) \cap \dots \cap Val(X_N, \text{низька}), \quad (2)$$

– розглядати функціональні відношення, що означені як причинно-наслідкові, користуючись наступним відношенням еквівалентності:

$$Y = f(X) \Leftrightarrow X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_N \rightarrow Y. \quad (3)$$

Аналіз наведених вище особливостей задач прийняття рішень дозволяє сформулювати такі вимоги до інструментальних засобів автоматизації їх розв'язання:

– інструментальна система повинна мати засоби спільної логічної та функціональної обробки, що дозволяє вирішувати як логічні, так і розрахункові задачі;

– система повинна враховувати багато-альтернативність вирішення завдань та залежно від вимог вибирати або раціональний варіант вирішення, або симбіоз різних варіантів з метою підвищення рівня достовірності результатів;

– інструментальна система має бути придатною на вирішення як прямих, і зворотних завдань.

Розглянемо тепер вибір інструментальної моделі, яка задовольняє висунутим вимогам. Вирішуючи задачу підтримки прийняття рішень при управлінні складними організаційними системами, слід враховувати той факт що число можливих станів системи зазвичай істотно перевищує число допустимих рішень. У цьому випадку необхідно провести класифікацію станів на основі деякої множини відповідних ознак. Але кожен стан керованої системи характеризується станами її елементів і сукупністю відносин, що виконуються на множині елементів, що обумовлює практичну неможливість їх опису у вигляді простої сукупностей ознак, як це робиться в більшості існуючих моделей розпізнавання образів. Для цієї мети в системах розглянутого класу часто використовується апарат семантичних мереж та когнітивних карт, які представляють собою зважені граfi і мають широкі можливості для подання різноманітної інформації про об'єкт керування [9]. Отже, задача формування класів станів керованої системи може бути поставлена як задача класифікації на зваженій структурі – граfi, який слугує для подання даних і знань про об'єкт.

Будемо розглядати таку задачу. Є множина станів Z керованої системи, що описана за допомогою зваженого семантичного графу (СГ) і має такі властивості:

– якщо стан керованої системи задається за допомогою визначення множини відносин, що виконуються між його елементами, то його можна представити деяким СГ;

– кожній формулі обчислення предикатів першого порядку, що має вигляд кон'юнкції літералів, можна поставити у відповідність дея-

кий СГ, і навпаки, кожному СГ відповідає деяка формула зазначеного виду, яка приймає значення «істина» тоді і тільки тоді, коли виконуються всі відносини, певні на даному СГ.

Нехай далі, певний клас K станів системи входить в Z : $K \subseteq Z$. Позначимо через v_k і w_k навчальні вибірки прикладів і контрприкладів класу K : $v_k \in K$; $w_k \cap K = \emptyset$. Потрібно побудувати алгоритм класифікації A_k , що дозволяє визначити приналежність довільного об'єкта $s_0 \in Z$ класу K .

Алгоритм A_k будемо представляти у вигляді сукупності двох алгоритмів: алгоритму $A1$ розрахунку стану об'єкту, якій представлено у вигляді СГ, і алгоритму $A2$ розпізнавання поточної ситуації щодо деякого узагальненого уявлення R_k класу K , отриманого в результаті роботи алгоритму $A1$.

Така модель розрахована на застосування в різних за своєю організацією системах прийняття рішень, які відповідають наступним, досить загальним, вимогам:

- структури множин T_j , $j = 1, \dots, n$ об'єктів даної предметної області, перетинаються тільки за включенням;
- кожен стан керованої системи повинен повністю задаватися за допомогою визначення сукупності відносин, що виконуються в даний момент на множині її елементів.

Основною одиницею структурного уявлення стану керованої системи буде згаданий вище СГ, який може служити для подання поточного стану системи та множини можливих станів. Типи ω_i , вершин V_i СГ можуть набувати наступних значень:

1. Тип $\omega_i = (Nj, x_j)$, де N_j – концепт – об'єкт, що має оцінку $x_j \in X$ з множини обчислюваних критеріїв X . Даний концепт має тільки вхідні дуги.

2. Тип $\omega_i = P_j$, де $P_j \in P$ проміжний концепт, якій має числове значення, що обчислюється за деяким виразом. Кожен проміжний концепт має хоча б одну дугу, що веде до іншої концептної вершини.

3. Тип $\omega_i = \langle O, r \rangle$, де O_j , $j = 1 \dots k$, – ім'я аспектною ознаки, якою може володіти об'єкт моніторингу, k – загальна кількість таких ознак, а r – значення даної ознаки. Вершина V_i в цьому випадку називається ознаковою і їй інцидентна хоча б одна дуга, що йде від даної вершини до деякої концептної вершини.

Отже, на основі наведених міркувань доцільно побудувати інструментальну модель у вигляді нечіткої когнітивної карти (НКК).

НКК – це метод моделювання складних систем, що використовує знання про існування та людський досвід. Він має навчальні можливості та характеристики, які покращують його структуру та обчислювальну поведінку. Це було введений Коско [9], як розширення звичайних когнітивних карт, що забезпечує потужний механізм для моделювання динамічних систем. Як техніка представлення знань і міркування, вона зображує систему у формі, яка дуже відповідає тому, як її сприймають люди. Крім того, ця модель здатна об'єднати знання експертів і наявні знання з даних у формі правил. Цей підхід представляє знання, підкреслюючи причинно-наслідкові зв'язки за допомогою структури карти. Отримана нечітка модель використовується для аналізу, моделювання та перевірки впливу параметрів та прогнозування поведінки системи. Модель НКК легко зрозуміла, навіть для нетехнічної аудиторії, і кожен параметр має відчутне значення.

НКК – це комбінація нечіткої логіки та когнітивного відображення, і це спосіб відобразити знання про системи, які характеризуються невизначеністю та складними процесами. НКК складається з факторів (концепцій/вузлів), які представляють важливі елементи відображеної системи, і спрямованих дуг, які представляють причинно-наслідкові зв'язки між факторами. Спрямовані дуги позначаються нечіткими значеннями в інтервал $[0, 1]$ або $[-1, +1]$, які показують силу впливу між поняттями.

Нечітка частина дозволяє мати ступені причинності, представлені як зв'язки між поняттями цих діаграм. Ця структура встановлює рух вперед і назад поширення причинно-наслідкових зв'язків, допущення збільшення бази знань, коли збільшуються поняття та зв'язки між ними.

Кожне з ребер НКК пов'язане зі значенням ваги, яке відображає силу відповідного відношення. Це значення зазвичай нормується на інтервал $[0, 1]$ або $[-1, +1]$. Матриця зберігає ваги, призначені парам понять. У найпростішому випадку можна виділити двійкові когнітивні карти, для яких мітки концепцій відображаються на двійкові стани, позначені як $A_i \in \{0, 1\}$, де значення 1 означає, що концепція активована. Ваги зазвичай відображаються на чіткий масив. Значення 1 являє собою позитивний причинно-наслідковий зв'язок, що розуміється, наприклад, таким чином, що активація (зміна з 0 на 1) i -го концепту відбувається одночасно з такою ж активацією j -го концепту або що деактивація (зміна

з 1 на 0) i -го концепту відбувається одночасно з тим самим деактивацією j -го концепту. Значення -1 представляє протилежну ситуацію, коли активація i -го концепту деактивує j -й концепт або навпаки. Якщо значення зв'язку дорівнює 0, це означає, що не відбувається одночасно змін станів понять. У НКК кожен вузол кількісно визначає ступінь до якого відповідне поняття в системі є активним на кроці ітерації.

Зазвичай експерти розробляють НКК або ментальну модель вручну на основі своїх знань у предметній області. Спочатку вони визначають ключові аспекти предметної області, а саме концепти. По-друге, кожен експерт визначає причинно-наслідкові зв'язки між цими поняттями та оцінює сильні та слабкі сторони причинно-наслідкових зв'язків.

Після того, як НКК сконструйовано, вона може отримувати дані від своїх вхідних концепцій, виконувати міркування та виводити рішення як значення вихідних концепцій. Отже, НКК моделюють світ як сукупність класів і причинно-наслідкових зв'язків між класами.

НКК більш застосовні, коли дані в першу чергу є неконтрольованими або невизначеними. НКК використовуються для моделювання кількох типів проблем, що варіюються від поведінки шлункового апетиту, популярних політичних подій, для моделювання в робототехніці і в багатьох інших випадках.

Але відомо, що НКК має деякі особливості, які ускладнюють її застосування. Зокрема такою властивістю є проблема стійкості НКК. Справа у тому, що після зміни значення хоча б одного фактора (тобто концепту – відповідного вузла карти) відбувається перерахунок значень усіх вузлів карти. Розрахунок відбувається за кілька ітерацій алгоритму A1, протягом яких повинні стабілізуватися значення збудженості усіх вузлів карти. Однак може статися, що карта не є стійкою і замість стабілізації значень відбувається необмежене зростання абсолютних значень збудженості. Тому вважається за необхідне проводити аналіз стійкості карти. У роботі [10] пропонуються способи аналізу структурної стійкості НКК. У роботах [11], [12] пропонуються доволі складні способи керування НКК для забезпечення її імпульсної стійкості у перехідних процесах. Щодо структурної стійкості – її уникнути важко, бо вона залежить від сукупності значень вагових коефіцієнтів матриці відношень між концептами (вузлами) НКК. Але ти значення, а також їх знаки задають експерти в проблемній області. Тому змі-

нити значення або знаки не представляється можливим, бо буде порушена логіка взаємозв'язків між концептами проблемної області.

Отже, постає окрема проблема, яку можна трактувати двояко: або мати механізм забезпечення стійкості НКК, або мати метод використання нестійких НКК.

Тепер розглянемо питання другого етапу аналізу ситуації – алгоритму A2. Ситуація представлена рівнями збудженості вузлів, які мають інтерпретуватися вербально, наприклад, нечіткими висловлюваннями. Потрібна відповідна база знань, в якій кожна ситуація має підмножини патернів – для погіршення, стабільного розвитку подій, поліпшення. Тут також є проблема. Вона полягає в тому, що при достатньо великій кількості вузлів НКК вплив зміни значення окремого концепту F_i на зміну значення іншого концепту F_j так би мовити розмивається та відповідно зменшується за рахунок того, що існує велика кількість непрямих взаємних впливів інших факторів. Тому потрібно мати механізм вибіркового прибирання «шумових» впливів, які на даному етапі виконання проєкту не мають великого значення.

Таким чином, виходячи з наведених міркувань, можна сформулювати концептуальні передумови використання нечітких когнітивних карт для керування проєктами у муніципальній сфері, а саме:

1. Забезпечити стійкість результатів розрахунку на НКК при будь якому змісті матриці зв'язків, тобто знайти метод використання нестійких НКК.

2. Забезпечити вибіркове прибирання шумових взаємних впливів факторів без фатального порушення бізнес-логіки проєкту.

ВИСНОВКИ. Управління проєктами, в тому числі у муніципальній сфері – типова задача управління в умовах невизначеності та ризику. Тому ефективне управління проєктами можливо лише за допомогою відповідних інформаційних технологій підтримки прийняття рішень. Важливим аспектом створення таких технологій є вибір моделі, за допомогою якої можна вирішувати одразу декілька задач, а саме – узгодження оцінок стану проєкту, моделювання впливу певних факторів з метою прогнозування, пошук оптимальних управлінських рішень як сукупності впливових факторів. Усім цим вимогам відповідає нечітка когнітивна карта. Але ефективне застосування цієї моделі можливо у тому випадку, якщо буде вирішено такі проблеми, як забезпечення

стійкості результатів розрахунку при будь-якому змісті матриці зв'язків, а також прибирання шумових взаємних впливів факторів без фатального порушення бізнес-логіки проекту.

У статті створено формальну постановку загального класу задач, що пов'язані з розробкою інструментального засобу підтримки прийняття рішень у процесі управління проектами. Сформульовано вимоги до інструментального засобу, а саме: інструментальна система повинна мати засоби спільної логічної та функціональної обробки, що дозволяє вирішувати як логічні, так і розрахункові задачі; система повинна враховувати багато-альтернативність вирішення завдань та залежно від вимог вибирати або раціональний варіант вирішення, або симбіоз різних варіантів з метою підвищення рівня достовірності результатів; інструментальна система має бути придатною на вирішення як прямих, і зворотних завдань.

Сформульовано також задачу формування класів станів керованої системи, яка поставлена як задача класифікації на зваженій структурі – графі, який слугує для подання даних і знань про об'єкт. Тим самим обґрунтовано застосування нечітких когнітивних карт для моніторингу, прогнозування та оптимізації управлінських рішень при керуванні проектами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецова Н. В. Практичні підходи до визначення та урахування невизначеностей, що формують фінансові ризики. *Праці Одеського політехнічного університету*. Вип. 2 (44). 2014. С. 160–170.
2. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Перевод с польского И. Д. Рудинского. Москва : Горячая линия – Телеком, 2006. 383 с.
3. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Edition 5. Project Management Institute, 2014. P. 589.
4. Project Management Methodologies. URL: <https://startinfinity.com/project-management-methodologies>
5. Project Management Methodologies You Need to Know About. URL: <https://toggl.com/track/project-management-methodologies>
6. Модели управления проектами в нестабильной экономической среде : монография / Ю. Г. Лысенко, С. И. Левицкий, А. В. Филиппов, А. Ю. Варес, В. В. Гнатушенко. Донецк : ООО «Юго-Восток, Лтд», 2009. 354 с.
7. Larichev O. I., Olson D. L., Moshkovich H. M., Mechitov A. I. Numerical Vs. Cardinal measurements in multiattribute decision making: How exact is exact enough? *Organizational behavior and human decision processes*. 1995. V. 64. № 1. Pp. 9–21.
8. Петров Э. Г., Губаренко Е. В. Методы и инструментальные средства систем поддержки принятия решений при организационном управлении социально-экономическими системами. *Бионика интеллекта*. 2010. № 3 (74). С. 26–36.
9. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *Intern. Journal of Man-Machine Studies*. 1986. P. 65–75.
10. Рыков Ю. Г. Технология использования нечетких когнитивных карт с математической точки зрения. Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2021. № 73. 22 с.
11. Романенко В. Д., Милявский Ю. Л. Обеспечение устойчивости импульсных процессов в когнитивных картах на основе моделей в пространстве состояний. *System Research & Information Technologies*. 2014, № 1. С. 26–42.
12. Романенко В. Д., Милявский Ю. Л. Стабилизация импульсных процессов в когнитивных картах сложных систем на основе модальных регуляторов состояния. *Кибернетика и вычисл. техника*. 2015. Вып. 179. С. 43–55.

THE PROBLEM OF SUPPORTING DECISION-MAKING PROJECT MANAGEMENT IN THE MUNICIPAL SPHERE AND PREREQUISITES FOR THE USE OF FUZZY COGNITIVE

Denys Vasyliiev

Postgraduate Student at the Department of Automation and Information Systems

Kremenchug Mykhailo Ostrogradsky National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, mjden710@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-4330-0359

Igor Shevchenko

Professor at the Department of Automation and Information Systems

Kremenchug Mykhailo Ostrogradsky National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, ius.shevchenko@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-3009-8611

Purpose. Effective project management is possible only with the help of appropriate information technologies to support decision-making. An important aspect of creating such technologies is the choice of a model that can be used to solve several tasks, namely – coordination of project assessments, modeling the impact of certain factors for forecasting, finding optimal management solutions as a set of influential factors. Fuzzy cognitive map meets all these requirements. But the effective application of this model is possible if the problems are solved, such as ensuring the stability of the calculation results in any content of the matrix of connections, as well as removing noise interactions without fatal violation of the business logic of the project. The aim of the work is to substantiate the use of fuzzy cognitive maps in the creation of information technology for managing organizational processes in the municipal sphere in conditions of uncertainty and risk. **Methodology.** The requirements to the tool are formulated, namely: the tool system must have the means of joint logical and functional processing, which allows to solve both logical and computational problems; the system should take into account the multi-alternative solution of problems and, depending on the requirements, choose either a rational solution or a symbiosis of different options in order to increase the level of reliability of the results; the tool system must be suitable for solving both direct and inverse problems. **Results.** Formal formulation of a general class of tasks related to the development of a tool to support decision-making in the project management process. **Originality.** The problem of forming classes of states of a controlled system is formalized, which is set as a problem of classification on a weighted structure – a graph, which serves to present data and knowledge about the object. Thus, the use of fuzzy cognitive maps for monitoring, forecasting and optimization of management decisions in project management is justified. **Practical value.** All this contributes to the main task – the development of information technology to support decision-making in organizational processes of project and program management in municipal bodies and enterprises.

Key words: municipal sphere, projects, decision making, fuzzy cognitive map, problems of application, formalization of tasks.

REFERENCES

1. Kuznetsov, N. V. (2014). Practical approaches to identifying and accounting for uncertainties that shape financial risks. Proceedings of Odessa Polytechnic University, P. 160–170. [in Ukrainian]
2. Rutkovskaya, D. (2006). Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. Moskov. P. 383. [in Russian]
3. Project Management Institute. (2014). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Edition 5. Project Management Institute. P. 589.
4. *Project Management Methodologies*. URL: <https://startinfinity.com/project-management-methodologies>
5. *Project Management Methodologies You Need to Know About*. URL: <https://toggl.com/track/project-management-methodologies>
6. Lysenko, Yu. G., Levitsky, S. I., Filippov, A. V., Vares, A. Yu., Gnatushenko, V. V. (2009). Models of project management in an unstable economic environment: monograph. Donetsk, P. 354. [in Russian]
7. Larichev, O. I., Olson, D. L., Moshkovich, H. M., Mechitov, A. I., Numerical, Vs. (1995). Cardinal measurements in multiattribute decision making: How exact is exact enough? *Organizational behavior and human decision processes*. P. 9–21.
8. Petrov, E. G., Gubarenko, E. V. (2010). Methods and tools of decision support systems in the organizational management of socio-economic systems. Bionics of intelligence. P. 26–36. [in Russian]
9. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps // Intern. Journal of Man-Machine Studies. P. 65–75.
10. Rykov, Yu. G. (2021). Technology of using fuzzy cognitive maps from a mathematical point of view. M. V. Keldysh. № 73. P. 22. Retrieved from: <https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2021-73> [in Russian]
11. Romanenko, V. D., Milyavsky, Yu. L. (2014). Stability of impulse processes in cognitive maps based on state-space models / System Research & Information Technologies. P. 26–42. [in Russian]
12. Romanenko, V. D., Milyavsky, Yu. L. (2015). Stabilization of impulse processes in cognitive maps of complex systems based on modal state controllers/Cybernetics and Comput. technique. Issue 179. P. 43–55. [in Russian]

Стаття надійшла 03.03.2022

ПРАВИЛА ТА МЕТОД ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ УКЛАДАННЯ ДОГОВОРУ ПРО НАДАННЯ ТЕРАПЕВТИЧНИХ ПОСЛУГ

Єлизавета Гнатчук

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, Хмельницький, Україна, 29016,
liza_veta@ukr.net;

ORCID: 0000-0003-2989-3183

Враховуючи неможливість звертатись за платними послугами юриста більшістю медичних клінік, значно підвищити юридичну коректність цивільно-правових договорів про надання різних медичних послуг може інформаційна технологія підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг – за рахунок надання висновку щодо можливості укладання підготовленого договору з врахуванням цивільно-правових підстав.

В статті розроблено правила та метод підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг, які є теоретичним підґрунтям для розроблення інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав.

Розроблені правила та метод забезпечують: перевірку договору на коректність та готовність з точки зору цивільно-правових підстав без участі фахівців-юристів, що забезпечує можливість медичним клінікам укладати юридично коректні договори без оплати послуг найманих юристів; висновок про можливість або неможливість укладання договору; запит на доповнення договору із зазначенням істотних умов, якими повинен бути доповнений договір – за умови неготовності договору (відсутності обов'язкових істотних умов); підвищення відповідальності клініки внаслідок укладання договору.

Ключові слова: правила для визначення можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг, метод підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг, договір про надання терапевтичних послуг.

ВСТУП. Інформаційне суспільство в Україні наразі активно розвивається, що характеризується впровадженням інформаційних технологій в усі сфери життя людей для забезпечення автоматизації рутинної роботи, зменшення фізичного навантаження та усунення або істотного зменшення людського фактору [1].

На сьогодні в Україні гостро стоїть проблема інформатизації галузі охорони здоров'я за рахунок розроблення медичних інформаційних технологій, успішне впровадження яких є критично важливим для підвищення ефективності роботи зазначеної галузі, які можуть значно підвищити ефективність роботи цієї галузі та убезпечити лікарів від потенційно неправильних рішень завдяки врахуванню при формуванні рішення всієї наявної інформації [2].

Наразі процеси прийняття рішень в галузі охорони здоров'я є трудомісткими, складними, непрозорими та неоднозначними як для пацієнтів, так часто і для лікарів [3–5]. Полегшити процес прийняття медичних рішень та разом із тим підвищити продуктивність роботи лікарів

можуть інформаційні технології підтримки прийняття рішень, які є ефективними інструментами в епоху доказової медицини та здатні забезпечити лікарів необхідною інформацією, що стосується того чи іншого рішення, підвищити ефективність використання актуальних медичних ресурсів, пришвидшити інтеграцію української медицини в європейський медичний простір [2; 3; 6; 7].

Ще більш важливим і складним є розроблення кросдисциплінарних інформаційних технологій, зокрема, інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав, яка є надзвичайно важливою наразі, оскільки багато проблем у галузі охорони здоров'я мають юридичне коріння, а вирішення правових потреб пацієнтів і громад може мати тривалий вплив на здоров'я [8].

У [9] проведено огляд та аналіз відомих систем підтримки прийняття рішень для галузі медичного права.

Так, наприклад, у [10] представлено мобільну систему підтримки прийняття рішень для

медичних працівників відділення невідкладної допомоги, призначена для визначення та дотримання правильної процедури на основі чинного законодавства, для зменшення ймовірності неправильних дій та пов'язаних з цим ризиків, а також для збереження як життя та здоров'я пацієнтів, так і їх прав.

У [11] представлено концепцію інформаційної системи та системи підтримки прийняття рішень для сприяння та зміцнення довіри між лікарем і пацієнтом, що включає компетентність, професійну автономію та відповідальність лікаря, а також самостійність у прийнятті рішень і право на самовизначення пацієнта – робити усвідомлений та добровільний вибір лікування, запропонований лікарем, гарантувати впевненість у наслідках поведінки та захистити права всіх залучених суб'єктів.

У [12] представлено модель автономії прийняття рішень у медичних питаннях, яка після надання згоди пацієнтів на медичні процедури встановлює пріоритет вираження побажань пацієнтів.

У [13] визначено найважливіші фактори, що впливають на процес прийняття рішень клієнтами щодо вибору медичних послуг, а також на визначення ролі та значення цих факторів щодо прийняття рішення.

У Швеції розроблено національну платформу обміну медичною інформацією [14], яка забезпечує обмін інформацією між різними інформаційними системами охорони здоров'я, що є дуже важливим для залучення пацієнтів до розробки та оцінки послуг eHealth на всіх рівнях та для забезпечення задоволення їхніх потреб у сумісності та обміні інформацією.

У [15] представлено інформаційну технологію для заповнення динамічної згоди пацієнтів та для перетворення цієї динамічної згоди в двонапрямлений, безперервний, інтерактивний процес між пацієнтами та медичними працівниками.

Проведений аналіз доводить, що жодна з відомих СППР не призначена для підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договорів про надання терапевтичних послуг з врахуванням цивільно-правових підстав.

Одним із найважливіших цивільно-правових інститутів для галузі медичного права є договори з надання послуг, які є найбільш важливою та поширеною підставою для виникнення правових відносин із надання медичних послуг певного виду. Саме використання кросдисциплінарних ІТ може суттєво збільшити коректність

укладеного договору з юридичної точки зору, забезпечити лікаря та пацієнта від юридичних колізій, надати можливість швидкої та безкоштовної перевірки наявності всіх істотних умов у договорі, а також рекомендації щодо подальшого укладання чи неукладання договору [5; 7].

Враховуючи відсутність усталеної форми цивільно-правових договорів про надання терапевтичних послуг в Україні та неможливість звертатись за платними послугами юриста багатьма клініками та медичними кабінетами, значно підвищити ефективність та юридичну коректність таких договорів може якраз інформаційна технологія підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав – за рахунок надання висновку щодо можливості підписання підготовленого договору/правильності медичного рішення з точки зору цивільно-правового регулювання.

Отже, на сьогодні *актуальним завданням* є забезпечення підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав шляхом розроблення відповідної інформаційної технології, для чого спочатку потрібно розробити правила та метод підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг.

Для виявлення задач, які повинна вирішувати така інформаційна технологія, та її властивостей, проведено аналіз предметної галузі – досліджено цивільно-правові підстави укладання договорів про надання терапевтичних послуг [9], під час якого визначено істотні умови договорів про надання терапевтичних послуг, що є обов'язковими для юридичної коректності та можливості підписання такого договору.

Правила та метод підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг. Основним джерелом інформації є, власне, договір про надання терапевтичних послуг, який готується до підписання. Такий договір потребує перевірки щодо його коректності та можливості укладання. Договір може бути підписаний лише за наявності всіх істотних умов. Якщо у контракті відсутні істотні умови, які є обов'язковими з юридичної точки зору, то він не рекомендується до підписання та повинен бути доопрацьований (доповнений відсутніми істотними умовами), щоб запобігти негативні наслідки як для лікаря, так і для пацієнта. Тому, для забезпечення коректності договору про надання терапевтичних послуг необхідно проаналізувати його зміст на предмет

виявлення, чи всі розглянуті вище істотні умови наявні в договорі.

Розробимо *правила для визначення можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг* з врахуванням цивільно-правових підстав:

1) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг, готовому до підписання, наявний пункт «предмет договору», то $tc = tc + I$, інакше «предмет договору» вноситься в множину AC ;

2) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «теоретичні засади роботи», то $tc = tc + I$, інакше «теоретичні засади роботи» вноситься в множину AC ;

3) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «практичний інструментарій», то $tc = tc + I$, інакше «практичний інструментарій» вноситься в множину AC ;

4) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «межі компетентності практикуючого лікаря», то $tc = tc + I$, інакше «межі компетентності практикуючого лікаря» вноситься в множину AC ;

5) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «обов'язки лікаря (медичної установи)», то $tc = tc + I$, інакше «обов'язки лікаря (медичної установи)» вноситься в множину AC ;

6) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «права лікаря (медичної установи)», то $tc = tc + I$, інакше «права лікаря (медичної установи)» вноситься в множину AC ;

7) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «відповідальність лікаря (медичної установи)», то $tc = tc + I$, інакше «відповідальність лікаря (медичної установи)» вноситься в множину AC ;

8) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «обов'язки клієнта», то $tc = tc + I$, інакше «обов'язки клієнта» вноситься в множину AC ;

9) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «права клієнта», то $tc = tc + I$, інакше «права клієнта» вноситься в множину AC ;

10) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «відповідальність клієнта», то $tc = tc + I$, інакше «відповідальність клієнта» вноситься в множину AC ;

11) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «оплата послуг», то $tc = tc + I$, інакше «оплата послуг» вноситься в множину AC ;

12) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «процедура оплати», то $tc = tc + I$, інакше «процедура оплати» вноситься в множину AC ;

13) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «терміни надання послуг», то $tc = tc + I$, інакше «терміни надання послуг» вноситься в множину AC ;

14) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «графік надання послуг», то $tc = tc + I$, інакше «графік надання послуг» вноситься в множину AC ;

15) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «можливі прояви супутніх несприятливих наслідків впливу терапевтичних послуг», то $tc = tc + I$, інакше «можливі прояви супутніх несприятливих наслідків впливу терапевтичних послуг» вноситься в множину AC ;

16) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «можливі прояви випадкових несприятливих наслідків впливу терапевтичних послуг», то $tc = tc + I$, інакше «можливі прояви випадкових несприятливих наслідків впливу терапевтичних послуг» вноситься в множину AC ;

17) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «скарги пацієнта», то $tc = tc + I$, інакше «скарги пацієнта» вноситься в множину AC ;

18) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «виявлення окремих ознак (симптомів) захворювання на основі скарг», то $tc = tc + I$, інакше «виявлення окремих ознак (симптомів) захворювання на основі скарг» вноситься в множину AC ;

19) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «анамнез захворювання», то $tc = tc + I$, інакше «анамнез захворювання» вноситься в множину AC ;

20) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «історія життя пацієнта», то $tc = tc + I$, інакше «історія життя пацієнта» вноситься в множину AC ;

21) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «дані об'єктивного обстеження», то $tc = tc + I$, інакше «дані об'єктивного обстеження» вноситься в множину AC ;

22) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «загальноклінічні методи обстеження», то $tc = tc + I$, інакше «загальноклінічні методи обстеження» вноситься в множину AC ;

23) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «лабораторно-інструментальні методи обстеження», то $tc = tc + I$, інакше «лабораторно-інструментальні методи обстеження» вноситься в множину AC ;

24) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «попередній (синдромний) діагноз», то $tc = tc + I$, інакше «попередній (синдромний) діагноз» вноситься в множину AC ;

25) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «назва хвороби», то $tc = tc + I$, інакше «назва хвороби» вноситься в множину AC ;

26) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «стадія патологічного процесу», то $tc = tc + I$, інакше «стадія патологічного процесу» вноситься в множину AC ;

27) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «клінічна форма хвороби», то $tc = tc + I$, інакше «клінічна форма хвороби» вноситься в множину AC ;

28) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «функціональний стан органів і систем», то $tc = tc + I$, інакше «функціональний стан органів і систем» вноситься в множину AC ;

29) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «діагноз ускладнень», то $tc = tc + I$, інакше «діагноз ускладнень» вноситься в множину AC ;

30) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «діагноз супутніх захворювань», то $tc = tc + I$, інакше «діагноз супутніх захворювань» вноситься в множину AC ;

31) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «остаточний (заключний) діагноз», то $tc = tc + I$, інакше «остаточний (заключний) діагноз» вноситься в множину AC ;

32) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «оптимальний фізичний режим», то $tc = tc + I$, інакше «оптимальний фізичний режим» вноситься в множину AC ;

33) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «оптимальний дієтичний режим», то $tc = tc + I$, інакше «оптимальний дієтичний режим» вноситься в множину AC ;

34) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «оптимальний гігієнічний режим», то $tc = tc + I$, інакше «оптимальний гігієнічний режим» вноситься в множину AC ;

35) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «медикаментозні

засоби», то $tc = tc + I$, інакше «медикаментозні засоби» вноситься в множину AC ;

36) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «фізіотерапевтичні засоби», то $tc = tc + I$, інакше «фізіотерапевтичні засоби» вноситься в множину AC ;

37) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «хірургічні методи», то $tc = tc + I$, інакше «хірургічні методи» вноситься в множину AC ;

38) якщо в договорі про надання терапевтичних послуг наявний пункт «санаторно-курортні пропозиції», то $tc = tc + I$, інакше «санаторно-курортні пропозиції» вноситься в множину AC .

Метод підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг складається з наступних кроків:

1) аналіз договору про надання терапевтичних послуг на предмет пошуку наявних в договорі істотних умов – з використанням розроблених вище правил для визначення можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг, згідно з якими ведеться підрахунок лічильника tc ;

2) якщо $tc = 38$, то формується висновок про можливість укладання договору про надання терапевтичних послуг, інакше якщо $tc \neq 38$ ($tc < 38$), то формується висновок про неможливість укладання (неготовність, некоректність) договору про надання терапевтичних послуг з точки зору цивільно-правових підстав;

3) якщо $tc \neq 38$ ($tc < 38$), то формується запит про доповнення договору про надання терапевтичних послуг обов'язковими істотними умовами – користувачу виводяться елементи множини AC для підказки, які істотні умови мають бути додані в договір для забезпечення можливості його укладання.

Схема методу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг представлена на рис. 1.

Приклад використання методу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг. Було виконано аналіз одного з договорів про надання терапевтичних послуг амбулаторією сімейної медицини мікрорайону Озерна (м. Хмельницький) на предмет пошуку наявних в договорі істотних умов – з використанням розроблених вище правил для визначення можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг, згідно з якими було проведено

підрахунок лічильника tc , який для цього договору дорівнює 33, а також заповнено множину $AC = \{\text{«межі компетентності практикуючого лікаря»}, \text{«відповідальність лікаря (медичної установи)»}, \text{«функціональний стан органів і систем»}, \text{«оптимальний дієтичний режим»}, \text{«санаторно-курортні пропозиції»}\}$.

Оскільки $tc \neq 38$ ($tc < 38$), тобто в договорі відсутні 5 з 38 обов'язкових для договору істотних умов, то формується висновок про неможливість укладання (неготовність, некоректність) договору про надання терапевтичних послуг з точки зору цивільно-правових підстав. Після цього було сформовано запит про доповнення аналізованого договору про надання терапевтичних послуг обов'язковими істотними умовами – користувачу було надано елементи множини AC для підказки, які істотні умови мають бути додані в договір для забезпечення можливості його укладання. В даному випадку такими істотними умовами є: «межі компетентності практикуючого лікаря», «відповідальність

лікаря (медичної установи)», «функціональний стан органів і систем», «оптимальний дієтичний режим», «санаторно-курортні пропозиції».

Амбулаторія сімейної медицини внесла рекомендовані зміни до аналізованого договору про надання терапевтичних послуг, після чого виконано повторний аналіз цього договору на предмет пошуку наявних в договорі істотних умов, а також було проведено підрахунок лічильника tc , який після доопрацювання для цього договору дорівнює 38, а множина AC відповідно є порожньою. Оскільки $tc = 38$, то тепер формується висновок про можливість укладання договору про надання терапевтичних послуг.

Враховуючи неможливість звертатись за платними послугами юриста більшістю медичних клінік та особливо амбулаторій сімейної медицини, значно підвищити юридичну коректність цивільно-правових договорів про надання терапевтичних послуг може розроблений метод підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтич-

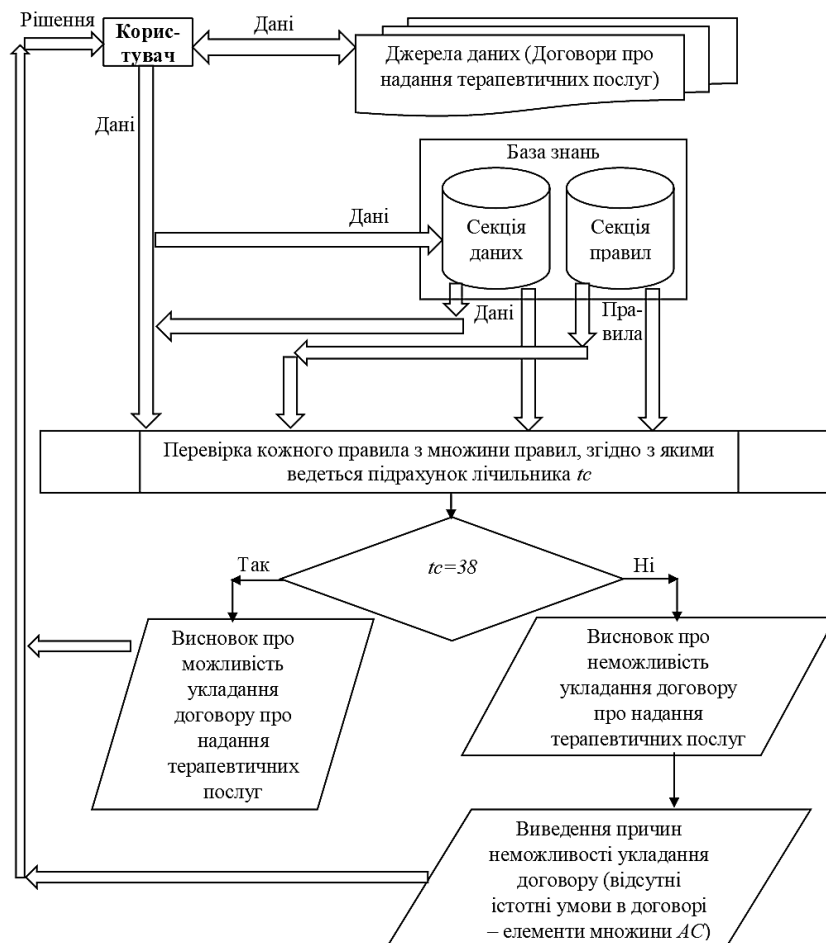


Рисунок 1 – Схема методу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг

них послуг – за рахунок надання висновку щодо можливості або неможливості укладання (неготовності, некоректності) підготовленого договору про надання терапевтичних послуг з врахуванням цивільно-правових підстав, як показує описаний приклад використання розробленого методу. Напрямок майбутніх досліджень автора є реалізація підсистеми інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав у вигляді веб-орієнтованого програмного забезпечення на основі розробленого методу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг.

ВИСНОВКИ. Враховуючи неможливість звертатись за платними послугами юриста більшістю медичних клінік, значно підвищити юридичну коректність цивільно-правових договорів про надання різних медичних послуг може інформаційна технологія підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг – за рахунок надання висновку щодо можливості укладання підготовленого договору з врахуванням цивільно-правових підстав.

В статті розроблено правила та метод підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг, які є теоретичним підґрунтям для розроблення інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав.

Розроблені правила та метод забезпечують: перевірку договору на коректність та готовність з точки зору цивільно-правових підстав без участі фахівців-юристів, що забезпечує можливість медичним клінікам укладати юридично коректні договори без оплати послуг найманих юристів; висновок про можливість або неможливість укладання договору; запит на доповнення договору із зазначенням істотних умов, якими повинен бути доповнений договір – за умови неготовності договору (відсутності обов'язкових істотних умов); підвищення відповідальності клініки внаслідок укладання договору.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hovorushchenko T. Methodology of Evaluating the Sufficiency of Information for Software Quality Assessment According to ISO 25010. *Journal of Information and Organizational Sciences*. 2018. Vol. 42. No. 1. P. 63–85.
2. Berezhsky O., Zarichnyi M., Pitsun O. Development of a metric and the methods for quantitative estimation of the segmentation of biomedical images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6 (4). P. 4–11.
3. Cresswell K., Majeed A., Bates D., Sheikh A. Computerised decision support systems for healthcare professionals: An interpretative review. *The Journal of Innovation in Health Informatics*. 2012. Vol. 20. Issue 2. P. 115–128.
4. Adams C., Allen J., Flack F. Data custodians and the decision-making process: releasing data for research. *Journal of Law and Medicine*. 2018. Vol. 26. Issue 2. P. 433–453.
5. Syerov Y., Shakhovska N., Fedushko S. Method of the Data Adequacy Determination of Personal Medical Profiles. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 902. P. 333–343.
6. Mitchell C., Ploem C. Legal challenges for the implementation of advanced clinical digital decision support systems in Europe. *Journal of Clinical and Translational Research*. 2018. Vol. 3. P. 424–430.
7. Melnykova N., Shakhovska N., Melnykov V., Melnykova K., Lishchuk-Yakymovych K. Personalized data analysis approach for assessing necessary hospital bed-days built on condition space and hierarchical predictor. *Big Data and Cognitive Computing*. 2021. Vol. 5. Issue 3. Paper 37.
8. Agate S., Curran M. Opportunity for legal innovation in healthcare technology. Web-site. URL: <https://www.lawpracticetoday.org/article/legal-innovation-healthcare-technology> (Last accessed: May 18, 2022).
9. Hovorushchenko T., Herts A., Hnatchuk Ye. Modeling the Decision Making Process on Civil Law Regulation of Contracts for the Provision of Therapeutic Services. *CEUR-WS*. 2020. Vol. 2711. P. 333–342.
10. Khodambashi S., Gulla J., Abrahamsson P., Moser F. Design and Development of a Mobile Decision Support System: Guiding Clinicians Regarding Law in the Practice of Psychiatry in Emergency Department. *The 2017 IEEE 30-th International Symposium on Computer-Based Medical Systems: Proceedings*. (Thessaloniki (Greece), June 22–24, 2017). Thessaloniki, 2017. Pp. 67–72.
11. Delbon P. The protection of health in the care and trust relationship between doctor and patient: Competence, professional autonomy and responsibility of the doctor and decision-making autonomy of the patient. *Journal of Public Health Research*. 2018. Vol. 7. Issue 3. Pp. 97–100.
12. Bouvet R. The primacy of the patient's wishes in the medical decision-making procedure established by French law. *European Journal of Health Law*. 2018. Vol. 25 (4). Pp. 426–440.
13. Stankova P., Horkelova J., Luczewska J., Ticha J., Zimcikova S., Cernobila J. The key factors influencing clients' decision-making in the market of selected planned healthcare in the Czech Republic. *Journal of Competitiveness*. 2017. Vol. 9. Issue 4. Pp. 94–113.
14. Davoody N., Koch S., Krakau I., Hagglund M. Accessing and sharing health information for post-discharge stroke care through a national health information exchange platform – a case study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2019. Vol. 19. Paper 95.
15. Joly Y., Knoppers B. *Routledge Handbook of Medical Law and Ethics*. New York : Routledge, 2015. 492 p.

RULES AND METHOD OF DECISION-MAKING SUPPORT ABOUT THE POSSIBILITY ABOUT CONCLUDING THE CONTRACT ON THE PROVISION OF THERAPEUTIC SERVICES

Yelyzaveta Hnatchuk

PhD, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Computer Engineering & Information Systems

Khmelnytskyi National University, 11 Institutcsa str., Khmelnytskyi, Ukraine, 29016, liza_veta@ukr.net;

ORCID: 0000-0003-2989-3183

The information society in Ukraine is currently actively developing, characterized by the introduction of information technology in all spheres of people's lives to automate routine work, to reduce physical activity and to eliminate or significantly reduce the human factor. Today in Ukraine the problem of informatization of the health care sector through the development of medical information technologies is acute.

Given the impossibility of seeking paid legal services by most medical clinics, information technology of support of medical decision-making considering civil law grounds can significantly increase the legal correctness of civil law contracts for the provision of various medical services – by providing the conclusion on the possibility of concluding the prepared contract taking into account civil law grounds.

The article develops rules and methods of decision-making support about the possibility about concluding the contract on the provision of therapeutic services, which are the theoretical basis for the development of information technology of support of medical decision-making considering civil law grounds.

The developed rules and method provide: verification of the contract for correctness and readiness in terms of civil law grounds without the participation of legal professionals, which allows medical clinics to conclude legally correct contracts without paying for the services of hired lawyers; conclusion on the possibility or impossibility of concluding the contract on the provision of therapeutic services; request for supplementation of the contract with indication of essential conditions, which must be supplemented by the contract – in case of unpreparedness of the contract (absence of obligatory essential conditions); increasing the responsibility of the clinic as a result of the contract.

Key words: rules for determining the possibility of concluding the therapeutic services contract, method of decision-making support about the possibility about concluding the therapeutic services contract, the therapeutic services contract.

REFERENCES

1. Hovorushchenko, T. (2018). Methodology of Evaluating the Sufficiency of Information for Software Quality Assessment According to ISO 25010. *Journal of Information and Organizational Sciences*, vol. 42 (1), pp. 63–85.
2. Berezhsky, O., Zarichnyi, M., Pitsun, O. (2017). Development of a metric and the methods for quantitative estimation of the segmentation of biomedical images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6 (4), pp. 4–11.
3. Cresswell, K., Majeed, A., Bates, D., Sheikh, A. (2012). Computerised decision support systems for healthcare professionals: An interpretative review. *The Journal of Innovation in Health Informatics*, vol. 20 (2), pp. 115–128.
4. Adams, C., Allen, J., Flack, F. (2018). Data custodians and the decision-making process: releasing data for research. *Journal of Law and Medicine*, vol. 26 (2), pp. 433–453.
5. Syerov, Y., Shakhovska, N., Fedushko, S. (2020). Method of the Data Adequacy Determination of Personal Medical Profiles. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 902, pp. 333–343.
6. Mitchell, C., Ploem, C. (2018). Legal challenges for the implementation of advanced clinical digital decision support systems in Europe. *Journal of Clinical and Translational Research*, vol. 3, pp. 424–430.
7. Melnykova, N., Shakhovska, N., Melnykov, V., Melnykova, K., Lishchuk-Yakymovych, K. (2021). Personalized data analysis approach for assessing necessary hospital bed-days built on condition space and hierarchical predictor. *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 5 (3), paper 37.
8. Agate, S., Curran, M. Opportunity for legal innovation in healthcare technology. Web-site. URL: <https://www.lawpracticetoday.org/article/legal-innovation-healthcare-technology> (Last accessed: May 18, 2022).
9. Hovorushchenko, T., Herts, A., Hnatchuk, Ye. (2020). Modeling the Decision Making Process on Civil Law Regulation of Contracts for the Provision of Therapeutic Services. *CEUR-WS*, vol. 2711, pp. 333–342.
10. Khodambashi, S., Gulla, J., Abrahamsson, P., Moser, F. (2017). Design and Development of a Mobile Decision Support System: Guiding Clinicians Regarding Law in the Practice of Psychiatry in Emergency Department. *The 2017 IEEE 30-th International Symposium on Computer-Based Medical Systems: Proceedings*, pp. 67–72.
11. Delbon, P. (2018). The protection of health in the care and trust relationship between doctor and patient: Competence, professional autonomy and responsibility of the doctor and decision-making autonomy of the patient. *Journal of Public Health Research*, vol. 7, issue 3, pp. 97–100.

12. Bouvet, R. (2018). The primacy of the patient's wishes in the medical decision-making procedure established by French law. *European Journal of Health Law*, vol. 25 (4), pp. 426–440.

13. Stankova, P., Horkelova, J., Luczewska, J., Ticha, J., Zimcikova, S., Cernobila, J. (2017). The key factors influencing clients' decision-making in the market of selected planned healthcare in the Czech Republic. *Journal of Competitiveness*, vol. 9, issue 4, pp. 94–113.

14. Davoody, N., Koch, S., Krakau, I., Hagglund, M. (2019). Accessing and sharing health information for post-discharge stroke care through a national health information exchange platform – a case study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 19, paper 95.

15. Joly, Y., Knoppers, B. (2015). *Routledge Handbook of Medical Law and Ethics*. New York : Routledge, 492 p.

Стаття надійшла 22.03.2022

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКИХ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ

Ніна Давиденко

кандидат технічних наук,

старший викладач кафедри комп'ютерних наук

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43000;

ORCID: 0000-0002-9722-745X

Валерій Ліщина

кандидат технічних наук,

завідувач кафедри комп'ютерних наук

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43000;

ORCID: 0000-0002-2371-3850

Сергій Куницький

кандидат технічних наук,

старший науковий співробітник науково-дослідної частини

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна, 33000;

ORCID: 0000-0003-0318-6149

Розглянуто питання побудови інформаційної системи моніторингу функціонування систем міської інфраструктури як складних інженерно-технічних систем. Обґрунтовано необхідність моніторингу попиту в системі. Як режимний показник використано профіль попиту на послугу. Запропоновано архітектуру інформаційної технології моніторингу попиту, яка базується на об'єктно-орієнтованому підході та має блочну структуру. Проектування прототипу інформаційної технології виконано за допомогою уніфікованої мови моделювання. Для опису функціональності та поведінки елемента архітектури інформаційної технології побудовано діаграму прецедентів. Візуалізацію взаємозв'язків між розрахунковими компонентами блоку аналізу даних моніторингу для виявлення закономірностей у формуванні профілів попиту представлено за допомогою діаграми класів, яка містить п'ять класів, що пов'язані між собою певним типом агрегації. Інтеграція розробленого прототипу в інформаційну систему моніторингу функціонування міських систем дозволить ідентифікувати зміну фактичних умов роботи їх об'єктів, що сприятиме підвищенню якості прийняття рішень щодо управління їх режимами роботи.

Ключові слова: моніторинг попиту, профіль попиту, прототип інформаційної технології, уніфікована мова моделювання, діаграма прецедентів, діаграма класів.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Системи міської інфраструктури є важливою ланкою людської діяльності та соціального розвитку. До таких систем згідно [1] належать системи електро-, газопостачання, транспортні системи, системи життєзабезпечення та комунальних послуг тощо. Системи міської інфраструктури забезпечують розподіл просторових послуг та є складними інженерно-технічними системами (ІТС), які містять низку взаємопов'язаних підсистем (які теж є складними системами), а також знаходяться у взаємозв'язку між собою. Міські ІТС є споживачами паливно-енергетичних (електроенергії, газу тощо) та природних (вода) ресурсів. Одним із пріоритетів сучасного сталого розвитку територій є енергетична ефек-

тивність, яка у контексті видачі комплексних рішень є проблемою, що стосується будь-яких галузей і технологічних процесів [2]. Згідно [3], необхідно приділяти «особливу увагу синергії між заходами з енергоефективності та ефективному використанню природних ресурсів відповідно до принципів кругова економіка».

Підвищення рівня ефективності використання енергетичних та природних ресурсів (разом із впровадженням сучасних технологій, підвищення якості, результативності, ефективності технологічних процесів) потребує розвитку системи управління об'єктами та мережами систем міської інфраструктури. Для забезпечення ефективного функціонування таких мереж, в тому числі й ефективного ресурсовикористання, необ-

хідним є планування режимів роботи їх об'єктів відповідно до потреб, ідентифікації нештатних ситуацій та впровадження низки заходів для їх попередження та ліквідації. При цьому, основою процесу управління для забезпечення ефективного її функціонування повинна бути реакція на попит, який визначається демографічною групою конкретних споживачів послуги ІТС міської інфраструктури. В [4] зазначено, що завдання оперативного регулювання можна вирішувати лише за наявності актуальної та достовірної інформації про виробничий процес, тобто, про режими роботи об'єктів ІТС, а також чинники зовнішнього середовища. Відсутність єдиної інформаційно-аналітичної бази ускладнює проведення реального аналізу ефективності функціонування ІТС та її об'єктів.

Процес управління ІТС вимагає проведення моніторингу функціонування її об'єктів, подання даних моніторингу у зручній формі для забезпечення ефективності та оперативності прийняття рішень. При цьому, інформаційна система моніторингу повинна будуватись як система спеціально організованого автоматизованого відстеження стану і поведінки об'єкта управління та зовнішнього середовища за певними характеристиками (показниками, параметрами) для визначення відповідності фактичних і планових значень [5]. Сучасний розвиток інформаційних технологій, технічних засобів автоматизації, комп'ютеризації забезпечує можливість накопичення інформації про фактичні умови, параметри, характеристики режимів роботи всієї системи та кожного її об'єкту. Вивчення цієї інформації забезпечує виявлення прихованих закономірностей для їх урахування під час формування технологічних режимів роботи об'єктів, аналізу, прогнозування та комплексної оцінки стану об'єкта управління з метою підвищення ефективності його функціонування [6].

МЕТОЮ роботи є удосконалення ефективності інформаційного забезпечення процесу управління режимами роботи об'єктів міських ІТС з урахування впливу зовнішніх чинників шляхом розробки інформаційної системи моніторингу попиту.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Міські ІТС функціонують в певних умовах, що визначаються впливом кліматичних, територіальних, соціальних чинників та укладом життя населення міста. Зовнішнє середовище представляє собою сукупність факторів прямої та непрямої дії. Зовнішні чинники мають

випадковий характер і зумовлюють зміну значень технологічних параметрів і фактичних умов роботи ІТС та її об'єктів. Ідентифікація цих умов є складовою процесу планування режимів роботи та контролю ефективності функціонування ІТС. Одним з зовнішніх чинників, який ускладнює оцінку ефективності роботи об'єктів міської ІТС є попит. Не врахування його впливу призводить до зниження ефективності її функціонування. На динаміку попиту в ІТС впливають соціальні (відображають уклад життєдіяльності: тип дня – робочі, вихідні; час доби), а також кліматичні та сезонні чинники. Отже, необхідно враховувати циклічні зміни попиту, зумовлені впливом цих чинників, та фактичні умови роботи об'єкту дослідження.

В сучасних умовах акцент ставиться на необхідності мати надійну і «інтелектуальну» систему управління об'єктами ІТС, систему збору і оперативного відображення технологічних параметрів цих об'єктів в пункті диспетчерського управління [7], а також створення великих баз ретроспективних даних [8] для ефективного планування режимів роботи об'єктів, їх контролю та управління.

Для аналізу ситуації на об'єкті дослідження необхідні об'єктивні показники, джерелом яких має стати система моніторингу, побудована на сучасних системах обліку, збору, зберігання і обробки даних. Першим кроком на шляху до ефективного управління технологічним процесом ІТС є розробка та впровадження автоматизованої системи оперативного відстеження його протікання та чинників, що його визначають. Застосування можливостей сучасних інформаційних технологій дозволяє реалізувати процес інтегрування декількох підсистем на рівні єдиної розподіленої системи зі зручним інтерфейсом взаємодії з користувачем. Розвиток систем обліку енергоспоживання та автоматизованого управління технологічними процесами дозволяють отримувати, зберігати і оперативно надавати великий обсяг інформації про параметри і режими роботи об'єктів ІТС, обсяги споживання енергоресурсів, об'єми попиту. Сучасний розвиток інформаційного і технологічного оснащення підприємств дозволяє удосконалювати методи отримання характеристик технологічних процесів, чинників, що визначають особливості їх формування, виконувати їх аналіз тощо. Ефективним інструментом вирішення завдань управління ефективністю функціонування міської ІТС є Web-орієнтовані системи моніторингу [9], що

дозволяє створити єдиний інформаційний простір для моніторингу міських ІТС, що мають територіально розгалужену структуру та множину окремих взаємопов'язаних і взаємозалежних компонентів і агентів.

У зв'язку із накопиченням великих обсягів даних, отриманих під час моніторингу режимів роботи ІТС, для полегшення їх аналізу інформаційна система повинна забезпечувати можливість інтелектуального аналізу даних (ІАД) [8]. У загальному випадку задачами ІАД є [10]: пошук функціональних і логічних закономірностей у накопичених даних; знаходження прихованих правил і закономірностей; використання виявлених закономірностей для побудови моделей, які характеризують стан або прогнозують розвиток певних процесів; аналіз виключень, призначений для виявлення і тлумачення аномалій у знайдених закономірностях. Використання ІАД забезпечує можливість вивчення постійно зростаючих обсягів інформації та виявлення прихованих закономірностей, що визначають формування технологічних режимів об'єктів ІТС. Це дозволить оцінити відповідність поточного стану технологічного процесу надання послуги фактичному попиту, забезпечить інформаційну підтримку прийняття рішень шляхом виявлення певних закономірностей [11].

Основним режимним показником функціонування міської ІТС є профіль попиту на послугу, який представляє собою добовий графік попиту (ДГП). Створення бази даних (БД) ДГП в рамках моніторингу функціонування ІТС міської інфраструктури є основою вирішення завдань оптимізації режимів роботи її об'єктів. Аналіз профілів попиту є одним із підходів до ідентифікації фактичних умов роботи ІТС та їх зміни [12]. Цей підхід спрямований на вилучення максимального ступеня інформації з наявних даних з метою поліпшення ефективності функціонування ІТС, планування режимів роботи її об'єктів, розподілу енергоресурсів тощо. Завдання ідентифікації умов роботи об'єктів ІТС на основі інформації про профілі попиту, які визначають їх режим роботи, можна представити як завдання розпізнавання образів [12]. Однак дані повинні бути належним чином організовані та опрацьовані [13].

Інформаційна технологія являє собою «сукупність методів, прийомів і програмно-технологічних засобів, об'єднаних у технологічний ланцюжок для забезпечення збору, зберігання, обробки і виведення інформації» [14]. Джерелами інформації в системі моніторингу функціонування ІТС

є автоматизовані системи обліку об'ємів наданих споживачам послуг; автоматизовані системи контролю та обліку енергоресурсів; підсистема геовізуалізації, що забезпечує роботу з динамічною атрибутивною інформацією про територіально-розподілені об'єкти міської ІТС та її інтерактивне представлення в картографічному вигляді. Основою підсистеми є геоінформаційна система (ГІС), що забезпечує збір, обробку, зберігання, графічне відображення і систематизацію даних про топологію та структуру мережі, фактичний стан обладнання, режим роботи мережі для їх використання під час аналізу, моделювання та прогнозування параметрів мереж та параметрів режиму роботи обладнання. Комунікаційна підсистема призначена для віддаленого збору даних і передбачає використання web-технологій, що забезпечує передачу даних та зв'язок між підсистемами ІТС, її об'єктами, пунктами обліку та системами управління. Аналітична підсистема містить підсистеми ІАД, моделювання і прогнозування, планування та контролю. Кожна підсистема представляє собою сукупність розрахункових процедур, методів та алгоритмів для реалізації відповідних завдань, тобто має відповідну архітектуру. Результатом кожної процедури є інформація, яка збирається в БД. Частина інформації є вихідною для наступних процедур, інша – використовується для прийняття рішення щодо поліпшення ефективності функціонування ІТС.

Формалізацію інформаційної технології процедури моніторингу попиту з урахуванням завдань моніторингу ефективності функціонування ІТС виконано з використанням об'єктно-орієнтованого підходу, основою якого є декомпозиція проблеми на окремі об'єкти або концептуальні класи. Застосування такого підходу передбачає проведення об'єктного аналізу предметної області та реалізації на його основі об'єктно-орієнтованого проектування. Суть аналізу полягає в ототожненні сутностей (об'єктів, процесів) предметної області у вигляді сукупності інформаційних об'єктів, що взаємодіють один з одним [15]. Архітектура процедури моніторингу попиту в ІТС (рис. 1) містить три категорії класів.

1) WEB-service – клас, що містить процедури отримання вихідної інформації;

2) FORMS-class – сукупність класів, об'єднаних обчислювальними алгоритмами та моделями:

– class Аналіз попиту – передбачає:

а) Sub-class Добовий графік попиту: опис та аналіз ДГП, їх класифікація та формування

груп однотипних ДГП; виявлення циклічних змін попиту;

б) Sub-class Характеристики попиту: формалізований опис попиту для типових умов, формування профілів попиту характерних днів;

– class Планування – передбачає планування режимів роботи об'єктів ІТС, побудова моделей ресурсовикористання об'єктами ІТС;

3) CONTROL-class – клас, що містить процедури виконання контролю відповідності фактичного стану об'єкту дослідження запланованому.

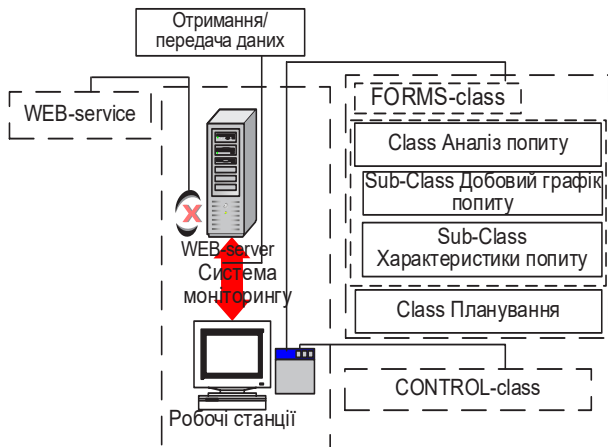


Рисунок 1 – Архітектура інформаційної технології моніторингу попиту в ІТС

Підвищення інформативності результатів моніторингу попиту для ідентифікації змін умов

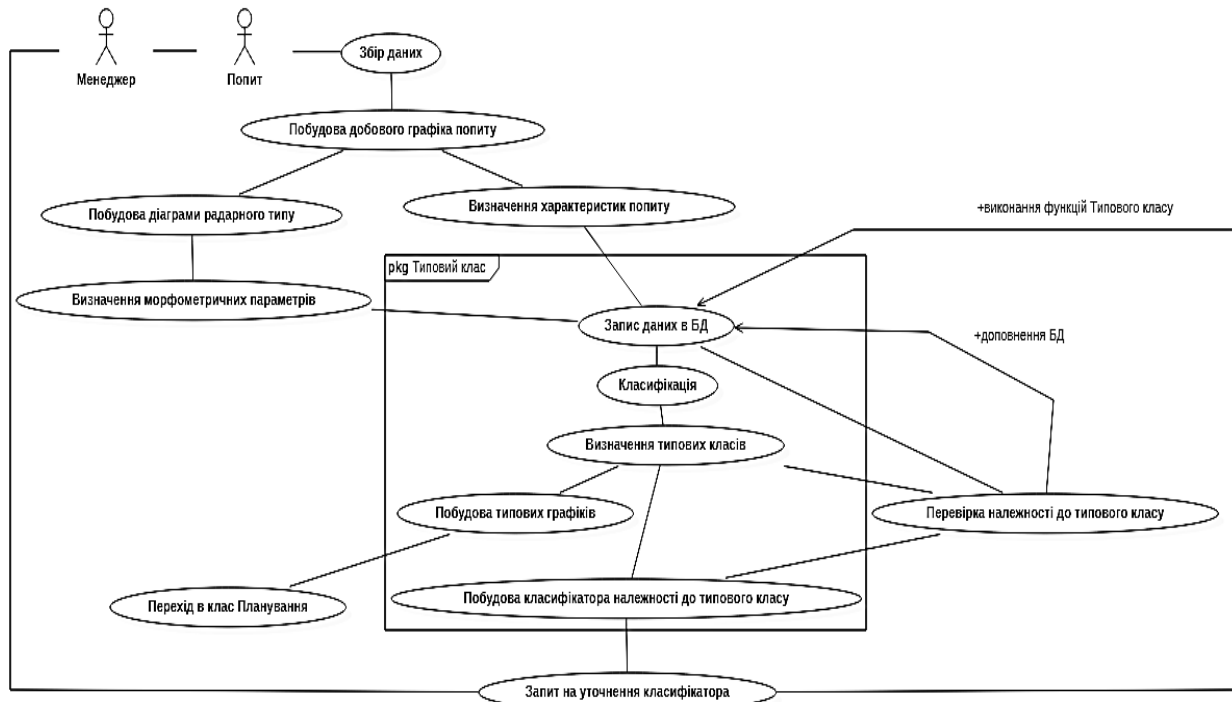


Рисунок 2 – Діаграма прецедентів прототипу інформаційної систем

роботи ІТС та її об'єктів потребує формування інформаційного ознакового простору, який містить БД про характеристики добового попиту, а також результати морфометричного опису форми ДГП [6].

Результатом процесу об'єктно-орієнтованого проектування є множина класів об'єктів із приєднаними методами обробки атрибутів. Документування результатів проектування прототипу інформаційної технології моніторингу попиту в міській ІТС виконано за допомогою уніфікованої мови моделювання (Unified Modeling Language, UML), що містить стандартний набір діаграм для моделювання. Розробку UML діаграм виконано за допомогою програмного забезпечення StarUML, версія 4.1.6.

Опис функціональності та поведінки елемента архітектури «Class Аналіз Попиту» категорії «FORMS-class» інформаційної технології моніторингу попиту виконано за допомогою діаграми прецедентів (рис. 2), яка призначена для: визначення межі та контексту модельованої предметної області; формування вимог щодо поведінки проектованої системи; розробки концептуальної моделі системи для її подальшої деталізації; підготовки документації для взаємодії із замовниками та користувачами системи.

Ієрархію та операції класів елемента архітектури «SubClass Graph» «Class Аналіз Попиту» категорії «FORMS-class» інформаційної техно-

логії моніторингу попиту представлено за допомогою діаграми класів (рис. 3), яка є складовою частиною діаграми прецедентів. За основу взято п'ять основних класів, необхідних для візуалізації взаємозв'язків між розрахунковими компонентами блоку аналізу ДГП інформаційної системи та пов'язаних між собою певним типом агрегації.

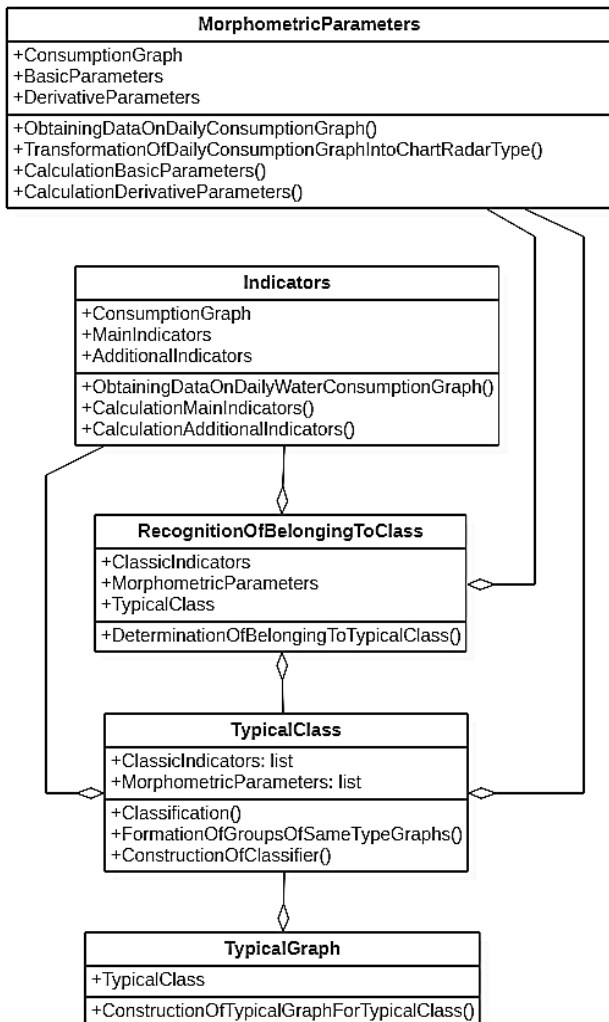


Рисунок 3 – Діаграма класів прототипу інформаційної системи

Клас “*Classic Indicators*” (Класичні показники) містить атрибути: ConsumptionGraph (ДГП); Indicators (показники, що характеризують попит).

В даному класі реалізовано: Obtaining Data On Daily Consumption Graph (отримання даних про ДГП); Calculation Indicators (обчислення показників, що характеризують попит).

Клас “*Morphometric Parameters*” (Морфометричні параметри) містить наступні атрибути: Consumption Graph (ДГП); Basic Parameters (базові параметри); Derivative Parameters (похідні параметри). В даному класі реалізовано:

Obtaining Data One Daily Consumption Graph (отримання даних про ДГП); Transformation Of Daily Consumption Graph Into Chart Radar Type (трансформація ДГП в діаграму радарного типу); Calculation Basic Parameters (обчислення базових параметрів); Calculation Derivative Parameters (обчислення похідних параметрів).

Клас “*Typical Class*” (Типовий клас) містить: список екземплярів класу “*Indicators*” (показники, що характеризують попит); список екземплярів класу “*Morphometric Parameters*” (Морфометричні параметри). В даному класі реалізовано: Classification (класифікація); Formation Of Groups Of Same Type Graphs (формування груп однотипних графіків); Construction Of Classifier (побудова класифікатора).

Клас “*Typical Graph*” (Типовий графік) містить екземпляр класу “*Typical Class*” (Типовий клас). В даному класі реалізовано: Construction Of Typical Graph For Typical Class (побудова типового графіка для типового класу).

Клас “*Recognition Of Belonging To Class*” (Розпізнавання належності до класу) містить: екземпляр класу “*Indicators*” (показники, що характеризують попит); екземпляр класу “*Morphometric Parameters*” (Морфометричні параметри); екземпляр класу “*Typical Class*” (Типовий клас). В даному класі реалізовано: Determination Of Belonging To Typical Class (визначення належності до типового класу).

ВИСНОВКИ. Система моніторингу ефективності функціонування ІТС є інструментом інформаційного забезпечення процесу планування режимів роботи об'єктів ІТС та прийняття рішень щодо управління ними. Забезпечення ефективного управління ІТС міської інфраструктури вимагає аналізу динаміки попиту в ІТС, що передбачає виявлення прихованих закономірностей у його формуванні. Методологічною основою прототипу інформаційної технології моніторингу попиту є ідентифікація із застосуванням теорії розпізнавання образів циклічних змін попиту, зумовлених впливом сезонних та соціальних чинників. Виконана з позицій об'єктно-орієнтованого підходу формалізація інформаційної технології моніторингу попиту має блочну структуру архітектури, яка передбачає можливість додавання нових розрахункових та контрольних процедур, що забезпечує можливість розширення функцій моніторингу та їх інтеграції в інформаційну систему моніторингу ефективності функціонування ІТС міської інфраструктури для підвищення якості прийняття рішень щодо управління режи-

мами роботи об'єктів з урахуванням фактичних умов їх роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Постанова Кабінету Міністрів України «Перелік секторів (підсекторів), основних послуг критичної інфраструктури держави» від 9 жовтня 2020 р. № 1109. URL: <https://zakon.rada.gov.ua>. (дата звернення: 20.12.2021 р.).
2. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). *Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency*. Seville: Institute for Prospective Technological Studies, European IPPC Bureau, 2008. URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ene.html> (дата звернення: 20.12.2021 р.).
3. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 2018. L 328. Pp. 210–230. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1581497905598&uri=CELEX:32019L0944> (дата звернення: 30.12.2021 р.).
4. Шевченко І. В., Куделина К. А. Разработка моделей решения функциональных задач оперативно-диспетчерского управления процессами производственного участка механосборочного производства. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2011. Вип. 4/2011 (69). С. 32–37.
5. Борукаев З. Х., Евдокимов В. Ф., Остапченко К. Б. Информационно-аналитическая система мониторинга оптового рынка электроэнергии. *Моделирование и информационные технологии*. 2002. Вып. № 14. С. 3–13.
6. Korobiichuk I., Davydenko L., Davydenko V., Davydenko N. Information support the operative control procedures of energy efficiency of operation modes of municipal water supply system facilities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 920. Pp. 571–582.
7. Плешков П. Г., Гарасьева Н. Ю., Величко Т. В. Побудова системи автоматизованого управління і моніторинга енергетичних параметрів насосної станції. *Наукові записки*. 2010. Вип. 10. С. 123–126.
8. Романчук С. М. Направления развития городских АСУ ТП водоснабжения и водоотведения. *Наукові праці Донець. нац. ун-т. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»*. 2014. № 1 (19). С. 131–138.
9. Pakanen J. E., Möttönen V. J., Hyytinen M. J., Ruonansuu H. A., Törmäkangas K. K. A Web-Based Information System For Diagnosing, Servicing And Operating Heating Systems. *The Journal of Information Technology in Construction*. 2001. № 6. Pp. 45–56.
10. Медиковський М., Цмоць І., Подольський М. Обґрунтування принципів побудови та розроблення узагальненої архітектури інформаційно-аналітичної системи для оцінювання, прогнозування та управління енергоефективністю економіки регіону. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. 2013. № 751. С. 40–51.
11. Згуровський М. З., Бідюк П. І., Терентьев О. М. Системна методика побудови БМ. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2007. № 4. С. 47–61.
12. Davydenko N., Korobiichuk I., Davydenko L., Nowicki M., Davydenko V. Identification of cyclic changes in the operation mode of the production facility based on the monitoring data. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1044. Pp. 189–197.
13. Meo I., Papetti A., Gregori F., Germani M. Optimization of energy efficiency of a production site: a method to support data acquisition for effective action plans. *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 11. Pp. 760–767.
14. Галушка І. М., Зінченко Г. Є., Краскевич В. Є., Щербак С. С. Технології розробки адаптивних систем підтримки прийняття рішень. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 1/2016 (96). С. 36–42.
15. Колесов Ю. Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГПУ, 2004. 240 с.

FORMALIZATION AND DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR MONITORING THE FUNCTIONING OF URBAN ENGINEERING NETWORKS

Nina Davydenko

Candidate of Technical Sciences,

Senior Lecturer at the Department of Computer Sciences

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska str., Lutsk, Ukraine, 43000;

ORCID: 0000-0002-9722-745X

Valeriy Lishchyna

Candidate of Technical Sciences,

Head of the Department of Computer Sciences

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska str., Lutsk, Ukraine, 43000;

ORCID: 0000-0002-2371-3850

Serhii Kynytskyi

Candidate of Technical Sciences,

Senior Researcher at the Research Department

National University of Water Management and Nature Management, 11 Soborna str., Rivne, Ukraine, 33000;

ORCID: 0000-0003-0318-6149

Purpose. Development of a prototype of an information system for monitoring the demand for a service in the city infrastructure system. **Methodology.** The object-oriented approach was used to formalize the monitoring technology. Unified modeling language was used to design a prototype of information technology monitoring. **Results.** The architecture of information technology of demand monitoring was offered. It has a block structure and contains three categories of classes, which contain procedures for obtaining input information, computational procedures, and control procedures. A use case diagram was constructed to describe the functionality and behavior of the information technology architecture element. Visualization of relationships between the calculation components of the monitoring data analysis unit to identify regularities in the formation of demand profiles was presented using a class diagram. It contains five classes, interconnected by a certain type of aggregation. **Originality.** The architecture of the demand monitoring information system based on the analysis and classification of demand profiles for the service was proposed. **Practical value.** The integration of the developed prototype into the information system for monitoring the functioning of urban systems will identify changes in the actual operation conditions of their facilities. This will increase the efficiency of decision-making on the management of the operation modes of facilities. **Conclusions.** Implementation of information technology of demand analysis and identification of its cyclical changes due to the influence of external factors will help improve the information support of the process of managing the operation modes of facilities and planning effective modes of their work taking into account the actual operation conditions. The block structure of the proposed information monitoring technology provides for the possibility of adding new calculation and control procedures, which provides the opportunity to expand the monitoring functions and their integration into the information system for monitoring the functioning of the urban infrastructure system. References 15, figures 3.

Key words: demand monitoring, demand profile, prototype of information technology, unified modeling language, use case diagram, class diagram.

REFERENCES

1. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy "Perelik sektoriv (pidsektoriv), osnovnykh posluh krytychnoi infrastruktury derzhavy" vid 9 zhovtnia 2020 r. № 1109 [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine "List of sectors (subsectors), basic services of critical infrastructure of the state" of October 9, 2020 № 1109]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-п#Text> (Accessed: 20.12.2021 p.). [in Ukrainian]
2. European Commission. (2008). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency. Seville: Institute for Prospective Technological Studies, European IPPC Bureau. URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ene.html> (Accessed: 20.12.2021 p.).
3. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. L 328, pp. 210–230. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1581497905598&uri=CELEX:32019L0944> (Accessed: 30.12.2021 p.).
4. Shevchenko, I. V., Kudelina, K. A. (2011). Razrabotka modelei resheniia funktsionalnykh zadach operativno-dispatcherskogo upravleniia protsesami proizvodstvennogo uchastka mekhanosbornochnogo proizvodstva [Development of models for solving functional problems of operational dispatch control of the processes of the production site of mechanical assembly production]. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State University. Vol. 4 (69), pp. 32–37. [in Russian]
5. Borukaev, Z. Kh., Yevdokimov, V. F., Ostapchenko, K. B. (2002). Informatsyonno-analiticheskaia sistema monitoringa optovogo rynka elektroenergii [Information and analytical system for monitoring the wholesale electricity market]. Modeling and information technology. Vol. 14, pp. 3–13. [in Russian]
6. Korobiichuk, I., Davydenko, L., Davydenko, V., Davydenko, N. (2020). Information support the operative control procedures of energy efficiency of operation modes of municipal water supply system facilities. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 920, pp. 571–582.
7. Plieshkov, P. G., Garasova, N. Yu., Velichko, T. V. (2010). Pobudova systemy avtomatyzovanoho upravlinnia i monitorynha enerhetychnykh parametriv nasosnoi stantsii [Construction of a system of automated control and monitoring of energy parameters of the pumping station]. Scientific notes. Vol. 10. P. 2, pp. 123–126. [in Ukrainian]
8. Romanchuk, S. M. (2014). Napravlennia razvitiia gorodskikh ASU TP vodosnabzheniia I vodootvedeniia [Directions for the development of urban ICSs for water supply and sanitation]. Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series "Informatics, Cybernetics and Computer Science". Vol. 1 (19), pp. 131–138. [in Russian]
9. Pakanen, J. E., Möttönen, V. J., Hyytinen, M. J., Ruonansuu, H. A., Törmäkangas, K. K. (2001). A Web-Based Information System For Diagnosing, Servicing And

Operating Heating Systems. The Journal of Information Technology in Construction. Vol. 6, pp. 45–56.

10. Medykovskyi, M., Tsmots, I., Podolskyi, M. (2013). Obgruntuvannia pryntsyviv pobudovy ta rozroblennia uzahalnoi arkhitektury informatsiino-analitychnoi systemy dlia otsiniuvannia, prohnozyvannia ta upravlinnia enerhoefektyvnosti ekonomiky rehionu [Substantiation of the principles of construction and development of a generalized architecture of information and analytical system for assessing, forecasting and managing energy efficiency of the region's economy]. Transactions of the National University "Lviv Polytechnic". Series "Computer Science and Information Technology". Vol. 751, pp. 40–51. [in Ukrainian]

11. Zghurovskyi, M. Z., Bidiuk, P. I., Terentiev, O. M. (2007). Systemna metodyka pobudovy BM [System methodology of BM construction]. KPI Science News. Vol. 4, pp. 47–61. [in Ukrainian]

12. Davydenko, N., Korobiichuk, I., Davydenko, L., Nowicki, M., Davydenko, V. (2020) Identification of cyclic

changes in the operation mode of the production facility based on the monitoring data. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1044, pp. 189–197.

13. Meo, I., Papetti, A., Gregori, F., Germani, M. (2017). Optimization of energy efficiency of a production site: a method to support data acquisition for effective action plans. Procedia Manufacturing. Vol. 11, pp. 760–767.

14. Halushka, I. M., Zinchenko, H. Ye., Kraskevych, V. Ye., Shcherbak, S. S. (2016). Technolohii rozrobky adaptivnykh system pidtrymky pryiniattia rishchen [Technologies for developing adaptive decision support systems]. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State University, Vol. 1 (96), pp. 36–42. [in Ukrainian]

15. Kolesov, Yu. B. (2004). Obiektno-orientirovannoe modelirovanie slozhnykh dinamicheskikh sistem [Object-oriented modeling of complex dynamic systems]. St. Petersburg : SPbPU Publishing House, 240 p. [in Russian]

Стаття надійшла 01.03.2022

IMPROVING THE CRYPTOGRAPHIC PROTECTION OF CONFIDENTIAL INFORMATION IN THE MANAGEMENT OF CIVIL PROTECTION FORCES AND MEANS

Ruslan Melnyk

PhD, Associate Professor,

Associate Professor at Department of Techniques and Means of Civil Defence

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine,
8/1 Onoprienko str., Cherkasy, Ukraine, 18034, melnyk.chipb@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5622-5642

Olga Melnyk

PhD, Senior Researcher,

Associate Professor at Department of Management in Sphere of Civil Defence

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine,
8/1, Onoprienko str., Cherkasy, Ukraine, 18034, melnyk.olja.2014@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-9671-108X

The study is devoted to improving the cryptographic protection of confidential information in the management of forces and means of civil protection, based on the use of advanced matrix cryptographic transformation operations. A new group of cryptographic transformation operations has been identified, which will improve the quality of information protection systems of SES of Ukraine. A method for the synthesis of elementary functions of extended matrix transformation by introducing logical constraint conditions that provide nonlinearity of transformation is developed, which made it possible to obtain a complete set of operations of extended matrix transformation. Methods for the synthesis of cryptographic information transformation operations based on extended matrix transformation have been developed. The algorithm of formation of sequence of pseudo-random numbers on the basis of the expanded matrix cryptographic transformation and the algorithm of formation of sequence which combines matrix and extended matrix cryptographic transformation is developed.

Key words: confidential information, prevention of emergencies, cryptographic protection, three-bit logic functions, matrix cryptographic transformation, advanced matrix cryptographic transformation.

INTRODUCTION. Ensuring the protection of the population and territories in case of threats and emergencies is an integral part of state national security policy. Prevention of emergencies, their rapid elimination with the least optimal involvement of forces and means of civil protection is of particular importance for the physical and moral condition of the population and the economy of the country. In any case, all these strategic and tactical actions of State Emergency Service of Ukraine (SES of Ukraine) are accompanied by complex information processes. The exchange of information is carried out in order to prevent emergencies, minimize their consequences and organize a coordinated response of civil protection forces to emergencies and dangerous events. Most information processes in the management of forces and means in emergencies are confidential. The efficiency, reliability and confidentiality of information is of paramount importance for human security and national security in general.

Requirements for the level of information protection in the structure of the SES of Ukraine began to grow with the increase in the number of hacker attacks. Unauthorized access to information processed and circulating at information facilities and in information, telecommunication and information-telecommunication systems of the SES of Ukraine, as well as leakage of information through technical channels occupy a special place for its dangerous consequences among threats that may lead to disclosure of information.

Ensuring sustainable and reliable operation of telecommunication networks and system-wide servers in peacetime and in special periods is the main task of cyber security in SES of Ukraine [1]. Ensuring cybersecurity is one of the priorities in Ukraine's national security system [2].

Today, among the many methods of information protection, cryptographic methods have a special place [3]. Unlike others, these methods are based only on the properties of the information itself

and do not use the properties of its material media, the features of the nodes of its processing, transmission and storage.

ANALYSIS OF LITERATURE DATA AND PROBLEM STATEMENT. Particular attention in publications on this topic is paid to the mathematical foundations of methods of information security theory, cryptography, digital steganography, as well as the peculiarities of their implementation and application [4–6].

Recent research and publications include: [7], where it was researched the operations of the information's strict stable cryptographic coding based on their models' synthesis when changing the amount of two operands' bits; [8], where algorithms for the use of information-driven permutation operations to develop them in both software and hardware cryptographic information security, and [9], where a prototype was selected and the cryptographic information security module was improved. This module fixes information about the user ID, session ID, sending time, message length and serial number, as well as uses a new session key generation procedure for encryption. It allows to ensure the data confidentiality and integrity in information-communication systems and networks.

Scientific work [10] is devoted to the development of modern methods of information protection and analytical systems of civil protection of SES of Ukraine and the Centers for Security of Citizens in decentralization for reliable and rapid management, coordination.

However, insufficient attention has been paid to the study of the possibility of using advanced matrix cryptographic transformation operations to protect the confidential information of SES of Ukraine.

THE PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE STUDY. The purpose of this study is to improve the cryptographic protection of confidential information in the management of forces and means of civil protection, based on the use of advanced matrix cryptographic transformation operations to protect confidential information.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

- based on the analysis of existing methods and means of information protection and the results of a computational experiment to identify a new group of cryptographic transformation operations that will improve the quality of information security systems;
- to develop a method for the synthesis of elementary functions of an extended matrix transformation;

- to develop methods of synthesis of operations of cryptographic transformation of information on the basis of the extended matrix transformation;

- to develop an algorithm for the formation of a sequence of pseudo-random numbers based on advanced matrix cryptographic transformation and a sequence generation algorithm that combines matrix and advanced matrix cryptographic transformation.

MAIN PART. One of the ways to increase the efficiency of information protection in the information and telecommunication system of SES of Ukraine is the introduction of cryptographic transformation operations.

To conduct a study on the synthesis of cryptographic transformation operations, three-bit logic functions were chosen, the effectiveness of which has been proven in [11].

The concept of elementary cryptocurrency functions is introduced for a subset of synthesized functions. Basic cryptocurrency functions are: $f_1^{(1)}(x_1, x_2, \dots, x_N)$, $f_2^{(2)}(x_1, x_2, \dots, x_N)$, $f_m^{(N)}(x_1, x_2, \dots, x_N)$ – conversion functions of the first, second and N category of information, respectively. Each function displays the rule-dependence of the converted bit value on all N initial values of information bits.

Cryptographic transformation operations are built on the basis of elementary functions.

For example,

$$F_{30,57,106}^k = (f_{30}^{(1)}, f_{57}^{(2)}, f_{106}^{(3)}) \Rightarrow F_{45,54,106}^d = (f_{45}^{(1)}, f_{54}^{(2)}, f_{106}^{(3)}),$$

$$F_{30,89,108}^k = (f_{30}^{(1)}, f_{89}^{(2)}, f_{108}^{(3)}) \Rightarrow F_{45,106,54}^d = (f_{45}^{(1)}, f_{106}^{(2)}, f_{54}^{(3)}),$$

where $f_{30}^{(1)}, f_{57}^{(2)}, f_{106}^{(3)}$ – elementary functions of the 1st, 2nd, 3rd category, respectively; sub-indices – numbers of elementary functions that correspond to the decimal value of the result of their execution; $F_{30,57,106}^k, F_{45,54,106}^d$ – cryptographic transformation operations, where k is direct and d is inverse cryptographic transformation.

It is expedient to single out a group of elementary functions that are not sufficiently studied to date – these are the elementary functions of the extended matrix transformation. This group of functions includes:

Direct functions
$f_{30} = x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3,$
$f_{54} = \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3,$
$f_{57} = \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_2 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3,$

$f_{75} = x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3,$
$f_{86} = \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{89} = \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{99} = x_1 \cdot x_2 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3,$
$f_{101} = x_1 \cdot x_3 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{106} = x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3,$
$f_{108} = x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{120} = \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{210} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3,$
Inverse functions
$f_{225} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot x_3,$
$f_{201} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{198} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{86} = \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{169} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot x_3,$
$f_{166} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3,$
$f_{156} = x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3,$
$f_{154} = x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3,$
$f_{149} = x_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot x_3 \vee \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{147} = x_1 \cdot x_2 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{135} = x_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_3 \vee \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3,$
$f_{210} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3.$

The method of synthesis of elementary functions of extended matrix transformation is developed and formalized. The general expression for obtaining the elementary functions of cryptographic transformation will look like: $f = \hat{x}_i \cdot \hat{x}_j \vee \hat{x}_i \cdot \hat{x}_l \vee \bar{\hat{x}}_i \cdot \bar{\hat{x}}_j \cdot \bar{\hat{x}}_l$, where $\hat{x}_i$ – variables that can take direct or inverse values.

Further research was aimed at formalizing the synthesis of extended matrix cryptographic transformation operations.

The rules for obtaining a direct elementary function will be formalized by an expression:

$$f = x_i \oplus (\hat{x}_j \cdot \hat{x}_l)$$

provided: $i \in [1, 2, 3]; \quad j \in [1, 2, 3]; \quad l \in [1, 2, 3];$
 $i \neq j \neq l$, where $\hat{x}$ – any value of the argument.

The first elementary function should be the function of extended matrix transformation on the basis of x_1 :

$$f = x_1 \oplus (\hat{x}_2 \cdot \hat{x}_3). \quad (1)$$

The second function based on x_2 has an inverse value in the second term x_3 the second term of the first function. x_1 can acquire any value.

Based on this, the second elementary function will have a representation:

$$f = x_2 \oplus (\hat{x}_1 \cdot \bar{\hat{x}}_3). \quad (2)$$

The third function based on x_3 has an inverse value in the second term x_1 to the second term x_1 the second function, x_2 acquires an inverse value x_2 the second term of the first elementary function.

Based on this, the third elementary function will have a representation:

$$f = x_3 \oplus (\bar{\hat{x}}_1 \cdot \bar{\hat{x}}_2). \quad (3)$$

Based on the expressions (1), (2), (3), the cryptographic transformation operation during the synthesis, starting from the first elementary function, will be presented:

$$F^k = \begin{bmatrix} x_1 \oplus (\hat{x}_2 \cdot \hat{x}_3) \\ x_2 \oplus (\hat{x}_1 \cdot \bar{\hat{x}}_3) \\ x_3 \oplus (\bar{\hat{x}}_1 \cdot \bar{\hat{x}}_2) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

We have developed a method for synthesizing operations of extended matrix transformation, which is written by the following rules:

1. Synthesis of a set of operations of extended matrix transformation based on expression (4).
2. Expanding the set of operations by removing the add-on from one or two operations.
3. Delete repetitive operations.
4. Expanding the set of operations by permuting bits in each operation.
5. Expanding the group of operations by introducing the inversion of elementary functions.

Consider the implementation of this method by example.

According to expression (4), 8 operations of extended matrix cryptographic transformation will be obtained:

$$\begin{aligned} - \text{operation 1} \quad F_{30,57,149}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (x_2 \cdot x_3) \\ x_2 \oplus (x_1 \cdot \bar{x}_3) \\ x_3 \oplus (\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2) \end{bmatrix}; \\ - \text{operation 2} \quad F_{30,147,89}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (x_2 \cdot x_3) \\ x_2 \oplus (\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3) \\ x_3 \oplus (x_1 \cdot \bar{x}_2) \end{bmatrix}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ operation 3} \quad F_{45,54,149}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (x_2 \cdot \bar{x}_3) \\ x_2 \oplus (x_1 \cdot x_3) \\ x_3 \oplus (\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2) \end{bmatrix}; \\
 - \text{ operation 4} \quad F_{45,99,89}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (x_2 \cdot \bar{x}_3) \\ x_2 \oplus (\bar{x}_1 \cdot x_3) \\ x_3 \oplus (x_1 \cdot \bar{x}_2) \end{bmatrix}; \\
 - \text{ operation 5} \quad F_{75,57,101}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (\bar{x}_2 \cdot x_3) \\ x_2 \oplus (x_1 \cdot \bar{x}_3) \\ x_3 \oplus (\bar{x}_1 \cdot x_2) \end{bmatrix}; \\
 - \text{ operation 6} \quad F_{75,147,86}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (\bar{x}_2 \cdot x_3) \\ x_2 \oplus (\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3) \\ x_3 \oplus (x_1 \cdot x_2) \end{bmatrix}; \\
 - \text{ operation 7} \quad F_{135,54,101}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (\bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3) \\ x_2 \oplus (x_1 \cdot x_3) \\ x_3 \oplus (\bar{x}_1 \cdot x_2) \end{bmatrix}; \\
 - \text{ operation 8} \quad F_{135,99,86}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (\bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3) \\ x_2 \oplus (\bar{x}_1 \cdot x_3) \\ x_3 \oplus (x_1 \cdot x_2) \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Studies have shown that it was difficult to synthesize the inverse cryptographic transformation operation on the basis of the used forms of representation of elementary functions. Therefore, a tabular form of presentation was proposed for further research.

$$\begin{aligned}
 F_{45,51,85}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (x_2 \cdot \bar{x}_3) \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} + & 1 & 0 \\ - & + & - \\ - & - & + \end{bmatrix}; \\
 F_{45,51,85}^d &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (x_2 \cdot x_3) \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} + & 1 & 0 \\ - & + & - \\ - & - & + \end{bmatrix}; \\
 F_{45,85,51}^k &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (x_2 \cdot \bar{x}_3) \\ x_3 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} + & 1 & 0 \\ - & - & + \\ - & + & - \end{bmatrix}; \\
 F_{75,85,51}^d &= \begin{bmatrix} x_1 \oplus (\bar{x}_2 \cdot x_3) \\ x_3 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} + & 0 & 1 \\ - & - & + \\ - & + & - \end{bmatrix}; \\
 F_{57,85,30}^k &= \begin{bmatrix} x_2 \oplus (x_1 \cdot \bar{x}_3) \\ x_3 \\ x_1 \oplus (x_2 \cdot x_3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & + & 0 \\ - & - & + \\ + & 1 & 1 \end{bmatrix}; \\
 F_{149,30,57}^k &= \begin{bmatrix} x_3 \oplus (\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2) \\ x_1 \oplus (x_2 \cdot x_3) \\ x_2 \oplus (x_1 \cdot \bar{x}_3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & + \\ + & 1 & 1 \\ 1 & + & 0 \end{bmatrix};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{149,30,57}^k &= \begin{bmatrix} x_3 \oplus (\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2) \\ x_1 \oplus (x_2 \cdot x_3) \\ x_2 \oplus (x_1 \cdot \bar{x}_3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & + \\ + & 1 & 1 \\ 1 & + & 0 \end{bmatrix}; \\
 F_{54,101,135}^d &= \begin{bmatrix} x_2 \oplus (x_1 \cdot x_3) \\ x_3 \oplus (\bar{x}_1 \cdot x_2) \\ x_1 \oplus (\bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & + & 1 \\ 0 & 1 & + \\ + & 0 & 0 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Presentation of synthesis results using tabular extended matrix representation provided detection and study of dependences of nonlinear operations of extended matrix transformation.

As a result of the synthesis, 42 basic cryptographic transformation operations based on the extended matrix representation were obtained. The number of basic operations coincides with the number of operations obtained on the basis of computational experiment and operations synthesized on the basis of elementary functions of extended matrix transformation by substitution method.

It should be noted that the synthesis of cryptographic transformation operations based on the operation model by the exception method simplifies the synthesis process by using a formalized model of the transformation operation.

The concept of extended matrix transformation is theoretically based on the experimentally proven fact that the operations of matrix cryptographic transformation and extended matrix cryptographic transformation do not form a group of cryptographic transformation operations. As a result, re-conversion of information by operations from another group of cryptographic operations provides increased cryptographic stability of the transformation.

Based on the proposed concept to ensure high cryptographic stability, advanced matrix cryptographic transformation operations are used in conjunction with matrix cryptographic transformation operations, and provide preliminary or subsequent data processing. The use of advanced matrix cryptographic transformation operations before and after matrix transformation operations is inefficient, as their reuse does not increase cryptographic stability.

On the basis of the formed method of protection of information resources on the basis of extended matrix operations of cryptographic transformation [10] we will develop the algorithm of formation of sequence for check of matrix sensor (on the basis of RANDOM) with the help of NIST-STS software package (testing technique, which is most common among developers of cryptographic means of information protection), which is presented

in Fig. 1. To assess the quality of the transformation of any data, we will develop an algorithm for implementing the method of information protection based on advanced matrix operations of cryptographic transformation, which combines matrix and advanced matrix cryptographic transformation. This algorithm

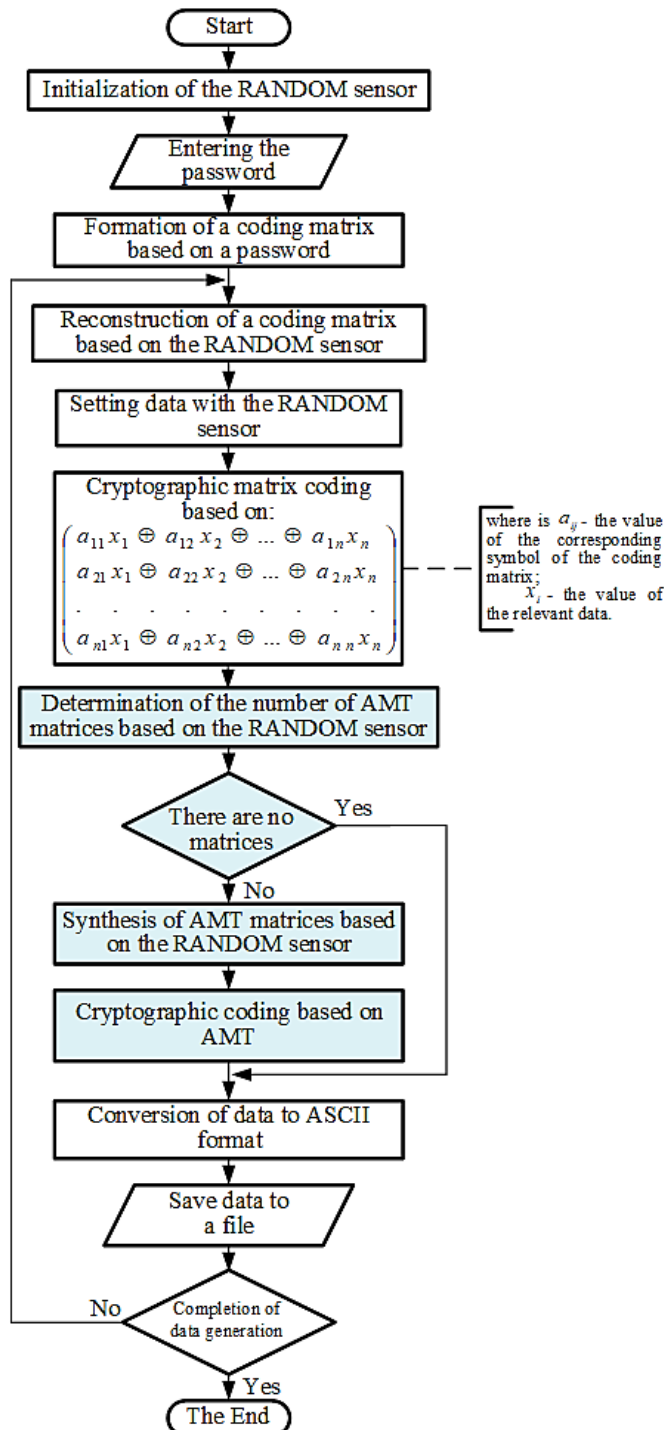


Figure 1 – Algorithm for forming a sequence of pseudo-random numbers based on extended matrix cryptographic transformation

is presented in Fig. 2. The test results showed that the method of information protection based on advanced matrix operations of cryptographic transformation has passed a comprehensive control of the NIST-STS method.

CONCLUSION. The paper solves an important scientific and technical problem of improving the cryptographic protection of confidential information in the management of forces and means of civil protection based on the use of new operations of cryptographic transformation:

1. As a result of the analysis of existing methods and means of information protection and results of computational experiment the group of logical operations which will provide expansion of set

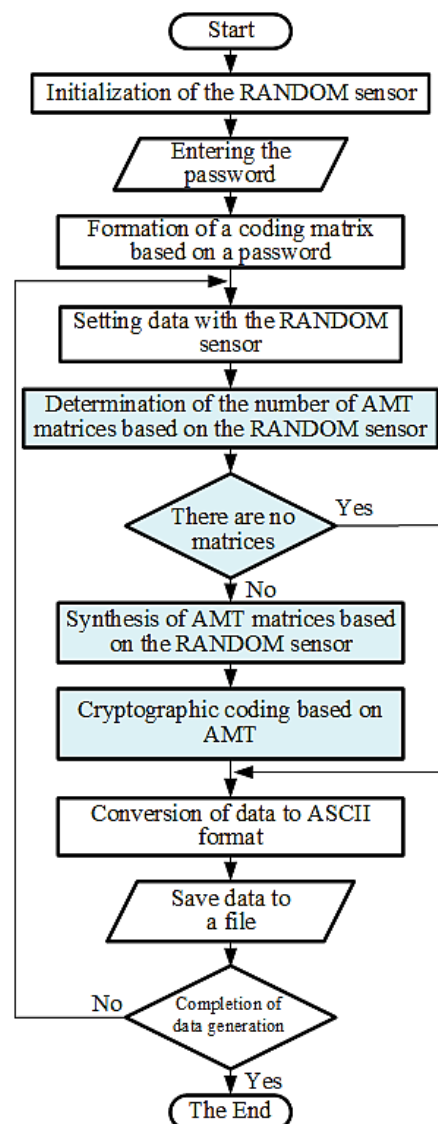


Figure 2 – Algorithm for forming a sequence, which combines matrix and advanced matrix cryptographic transformations

of operations of cryptographic transformation for increase of quality of cryptoalgorithms is defined. Improving of cryptographic stability of information security systems is based on the fact that the operations of extended matrix transformation do not form one group with other operations.

2. A method for the synthesis of elementary functions of extended matrix transformation by introducing logical constraint conditions that provide nonlinearity of transformation is developed, which made it possible to obtain a complete set of operations of extended matrix transformation.

3. Methods for the synthesis of cryptographic information transformation operations based on extended matrix transformation have been developed.

4. An algorithm for the formation of a sequence of pseudo-random numbers based on advanced matrix cryptographic transformation and a sequence generation algorithm that combines matrix and advanced matrix cryptographic transformation has been developed.

REFERENCES

1. Pro zatverdzhennia Polozhennia z orhanizatsii zakhodiv zabezpechennia kiberbezpeky v DSNS : nakaz DSNS Ukrainy vid 01.10.2020 r. № 533. [in Ukrainian]
2. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 14.05.2021 r. "Pro Stratchiui kiberbezpeky Ukrainy" : Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 26.08.2021 p. № 447/2021. [in Ukrainian]
3. Oppliger, R. Cryptography 101: From Theory to Practice. Artech (2021).
4. Ella Hassanien, Mohamed Elhoseny, Cybersecurity and Secure Information Systems: Challenges and Solutions in Smart Environments. Springer Nature Switzerland AG (2019).
5. Rajeshwaran, K., A nil Kumar, K. Cellular Automata Based Hashing Algorithm (CABHA) for Strong Cryptographic Hash Function, 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICECCT.2019.8869146
6. Robert Ciesla, Encryption for Organizations and Individuals. Apress, Berkeley, CA. HELSINKI, Finland (2020).
7. Jancarczyk, D., Rudnytskyi, V., Breus, R., Pustovit, M., Veselska, O., & Ziubina, R. Two-Operand Operations of Strict Stable Cryptographic Coding with Different Operands' Bits. In 2020 IEEE 5th International Symposium on Smart and Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS). 2020, September, pp. 1–8.
8. Babenko, V., Myronyuk, T., Kryvov, H. Alhorytmy zastosuvannia operatsii perestanovok, kerovanykh informatsiieiu, dlia realizatsii kryptoperetvorennia informatsii. Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu, no. 3, 2021, pp. 44–58 [in Ukrainian]. doi: 10.24025/2306-4412.3.2021.247252
9. Gnatyuk, S., Smirnova, T., Berdibayev, R., Burmak, Y., Ospanova, D. Udokonalenyi modul kryptohrafichnogo zakhystu informatsii v suchasnykh informatsiino-komunikatsiinykh systemakh ta merezhakh. Elektronne fakhove naukove vydannia "Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika". 2021. T. 2 (14), pp. 176–185 [in Ukrainian]. doi: 10.28925/2663-4023.2021.14.176185
10. Melnyk, O., Melnyk, R. Rozroblennia metodu zakhystu informatsii informatsiino-analitychnykh system dlia zdiisnennia upravlinnia sylamy ta zasobamy tsyvilnogo zakhystu v umovakh detsentralizatsii. Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnogo universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky. T. 32 (71). Part 1. № 2, 2021, pp. 188–193. [in Ukrainian]
11. Kryptohrafichne koduvannia: obrobka ta zakhyst informatsii, V. Rudnytskyi, ed. Kharkiv, Ukraine : DISA PLIUS, 2018. [in Ukrainian]

УДОСКОНАЛЕННЯ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ КОНФІДЕНЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В УПРАВЛІННІ СИЛАМИ І ЗАСОБАМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Руслан Мельник

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри техніки та засобів цивільного захисту

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, вул. Онопрієнка, 8/1, Черкаси, Україна, 18034, melnyk.chipb@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5622-5642

Ольга Мельник

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
доцент кафедри управління у сфері цивільного захисту

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, вул. Онопрієнка, 8/1, Черкаси, Україна, 18034, melnyk.olja.2014@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-9671-108X

Дослідження присвячено удосконаленню криптографічного захисту конфіденційної інформації в управлінні силами і засобами цивільного захисту на основі використання розвинутих матричних операцій криптографічного перетворення. Визначено нову групу операцій криптографічного перетворення, яка покращить якість систем захисту інформації ДСНС України. Розроблено метод синтезу елементарних функцій розширеного матричного перетворення шляхом введення логічних обмежень, що забезпечують нелінійність перетворення, що дозволило отримати повний набір операцій розширеного матричного перетворення. Розроблено методи синтезу операцій перетворення криптографічної інформації на основі розширеного матричного перетворення. Розроблено алгоритм формування послідовності псевдовипадкових чисел на основі розширеного матричного криптографічного перетворення та алгоритм формування послідовності, який поєднує матричне та розширене матричне криптографічне перетворення.

Ключові слова: конфіденційна інформація, запобігання надзвичайним ситуаціям, криптографічний захист, трирозрядні логічні функції, матричне криптографічне перетворення, розширене матричне криптографічне перетворення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Положення з організації заходів забезпечення кібербезпеки в ДСНС : наказ ДСНС України від 01.10.2020 року № 533.
2. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14.05.2021 року. «Про стратегію кібербезпеки України» : Указ Президента України від 26.08.2021 р. № 447/2021.
3. Oppliger R. Cryptography 101: From Theory to Practice. Artech (2021).
4. Ella Hassanien, Mohamed Elhoseny, Cybersecurity and Secure Information Systems: Challenges and Solutions in Smart Environments. Springer Nature Switzerland AG (2019).
5. Rajeshwaran K., Anil Kumar K. Cellular Automata Based Hashing Algorithm (CABHA) for Strong Cryptographic Hash Function, 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICECCT.2019.8869146
6. Robert Ciesla, Encryption for Organizations and Individuals. Apress, Berkeley, CA. HELSINKI, Finland (2020).
7. Jancarczyk D., Rudnytskyi V., Breus R., Pustovit M., Veselska O., & Ziubina R. Two-Operand Operations of Strict Stable Cryptographic Coding with Different Operands' Bits. In 2020 IEEE 5th International Symposium on Smart and

Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS). 2020, September, pp. 1–8.

8. Бабенко В., Миронюк Т., Кривоус Г. Алгоритми застосування операції перестановок, керованих інформацією, для реалізації криптоперетворення інформації. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. Вип. 3. 2021. С. 44–58. doi: 10.24025/2306-4412.3.2021.247252
9. Гнатюк С. О., Смірнова Т. В., Бердибаєв Р. Ш., Бурмак Ю. А., Оспанова Д. М. Удосконалений модуль криптографічного захисту інформації в сучасних інформаційно-комунікаційних системах та мережах. *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*. 2021. Т. 2 (14). С. 176–185. doi: 10.28925/2663-4023.2021.14.176185
10. Мельник О., Мельник Р. Розроблення методу захисту інформації інформаційно-аналітичних систем для здійснення управління силами та засобами цивільного захисту в умовах децентралізації. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Т. 32 (71). Частина 1. № 2, 2021. С. 188–193.
11. Рудницький В. Криптографічне кодування: обробка та захист інформації. 2018. Харків, Україна : ДІСА ПЛЮС.

Стаття надійшла 24.03.2022

КОМБІНАТОРНА ЗАДАЧА ПРО ПОБУДОВУ МОСТІВ ТА МЕТОДИ ЇЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ

Юрій Олексійчук

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, 36014, olexijchuk@gmail.com;
ORCID: 0000-0002-0585-3307

Дмитро Ольховський

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, 36014, dmitriy@olhovsky.name;
ORCID: 0000-0003-0313-6977

Олена Ольховська

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, 36014, lena@olhovsky.name;
ORCID: 0000-0001-5366-5995

Тетяна Чілікіна

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, 36014, tv.0502@gmail.com;
ORCID: 0000-0002-0585-3307

Оксана Черненко

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій,
Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, 36014, oksanachernenko7@gmail.com;
ORCID: 0000-0002-9084-0999

Оксана Оріхівська

старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, 36014, aka.jeita@gmail.com;
ORCID: 0000-0003-2775-0832

В роботі розглядається комбінаторна задача оптимізації побудови мостів. Нехай є місто, яке розташоване на берегах річки. Місто складається із мікрорайонів, які сполучені між собою дорогами. Для доріг відома максимальна пропускна спроможність. Для кращого з'єднання берегів заплановане будівництво кількох мостів з відомою пропускною спроможністю. Але всі ці мости не можуть бути побудовані одночасно. Задача полягає у виборі певної кількості мостів із запланованих, які будуть побудовані в першу чергу, з метою максимізації транспортного потоку між берегами. Задача може бути зведена до комбінаторної задачі знаходження максимального потоку за допомогою введення фіктивного джерела та фіктивного стоку. В загальному випадку задача є NP-важкою. Якщо відкинути комбінаторні обмеження, то задача зводиться до задачі знаходження максимального потоку в транспортній мережі, для якої відомі поліноміальні алгоритми. Також задача про побудову мостів може бути зведеною до задачі евклідової комбінаторної оптимізації на перестановках. Для таких задач розроблено багато методів розв'язування. В роботі побудовано математичну модель задачі, розглянуто методи розв'язування задачі. Для розв'язання задачі може бути застосований один із загальних методів для задач евклідової комбінаторної опти-

мізації на перестановках. Для комбінаторних задач знаходження максимального потоку побудовані спеціальні методи. Наприклад, жадібний метод та метод гілок та меж. Жадібний метод є евристичним. За часом роботи він є поліноміальним, але не завжди дозволяє знайти точний розв'язок. Метод гілок та меж може використовуватися для знаходження як точного розв'язку, так і наближеного.

Ключові слова: задача про побудову мостів, комбінаторна оптимізація, комбінаторна задача знаходження максимального потоку, задача евклідової комбінаторної оптимізації на перестановках, метод гілок та меж.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Задачі комбінаторної оптимізації використовуються для моделювання різноманітних фізичних, економічних та соціальних процесів [1–13]. Серед них виділяють клас задач евклідової комбінаторної оптимізації [1–4]. В роботі розглядається одна прикладна задача, яка може бути зведена до задачі евклідової комбінаторної оптимізації на перестановках. Оптимізації дорожньої мережі присвячено багато публікацій. Наприклад, в [15] розглядається застосування мурашиного алгоритму для таких задач. Але задача про побудову мостів в такій постановці розглядається вперше.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ. Нехай вершинами $v_1, v_2, \dots, v_r$ графа позначені основні мікрорайони міста, розміщеного на берегах річки, а дугами U – існуючі дороги та мости, а також мости, побудова яких запланована в майбутньому, (підмножина $U' \subseteq U$). Для кожної вершини v_i задані величини p_i , що характеризують вихідний транспортний потік із мікрорайону, та q_i , що характеризує вхідний транспортний потік. Для кожної дуги відома пропускна спроможність b_{ij} . Нехай запланована побудова k нових мостів, але є можливість побудувати тільки d мостів ($d < k$).

Задача полягає у визначенні списку мостів, які потрібно побудувати, щоб допустимий транспортний потік з одного берега на інший був максимальним.

Будемо вважати, що на одному березі розміщені, в основному, «спальні» райони, а на другому – промислові. І будемо шукати максимальний потік зі «спального» берега на «промисловий» (задача характерна для початку дня). Обернена задача розв'язується аналогічно, оскільки у вечірні години можна вважати, що значення p_i та q_i міняються місцями.

Побудова моделі. Введемо фіктивне джерело v_s і з'єднаємо його зі всіма вершинами «спального» берегу дугами із пропускною спроможністю $b_{si} = p_i$. Аналогічно з'єднаємо всі вершини «промислового» берегу із фіктивним стоком дугами з пропускною спроможністю $b_{jt} = q_j$.

Побудуємо математичну модель задачі. Цільова функція:

$$f = \max \left(\sum_{u_{jt} \in U} y_{jt} \right), \quad (1)$$

обмеження:

$$\sum_{u_{iz} \in U} y_{iz} = \sum_{u_{zj} \in U} y_{zj}, \quad z \neq s, \quad z \neq t, \quad (2)$$

$$0 \leq y_{ij} \leq b_{ij}, \quad \forall u_{ij} \in U, \quad (3)$$

$$y_{ij} \leq x_{ij}, \quad \forall u_{ij} \in U', \quad (4)$$

$$x = (x_{i_1 j_1}, x_{i_2 j_2}, \dots, x_{i_k j_k}) \in E_{k2}(G), \quad (5)$$

де $G = \{0^{k-d}, M^d\}$, M – досить велике число ($M \geq \max_{u_{ij} \in U'}(b_{ij})$), $E_{k2}(G)$ – множина перестановок із k чисел, серед яких 2 різні (частковий випадок множини перестановок).

Модель (1)–(5) є задачею евклідової комбінаторної оптимізації на перестановках. В [7] доведено, що в загальному випадку вона є NP-важкою.

Приклад. Дано місто, яке складається з п'яти мікрорайонів. «Спальні» мікрорайони v_1, v_2, v_3 розташовані на одному березі річки, промислові мікрорайони v_4, v_5 – на іншому. Відомий вихідний транспортний потік для «спальних» мікрорайонів $p_1 = 8, p_2 = 10, p_3 = 9$ та вхідний транспортний потік для промислових $q_4 = 11, q_5 = 16$. Наявні шляхи між мікрорайонами та їх пропускна спроможність задана на графі (рис. 1). Мікрорайони v_1 та v_4 з'єднані мостом з пропускною спроможністю 17 од. Запланована побудова ще трьох мостів u_{25}, u_{34} і u_{35} з пропускними спроможностями 5, 6 та 8 відповідно. Але є можливість побудувати лише 2. Потрібно вибрати два із трьох запланованих мостів, побудова яких максимізує транспортний потік зі «спального» берега на промисловий.

Математична модель. Введемо фіктивне джерело та фіктивний стік. Фіктивне джерело з'єднаємо дугами із усіма вершинами «спального» берега, пропускну спроможність візьмемо рівною відповідним вихідним потокам із районів. Аналогічно усі вершини промислового берега з'єднаємо із стоком дугами з пропускною спроможністю рівною вхідному потоку відповідних районів (рис. 2).

Таким чином, ми отримали комбінаторну задачу знаходження максимального потоку [8]. Побудуємо її математичну модель.

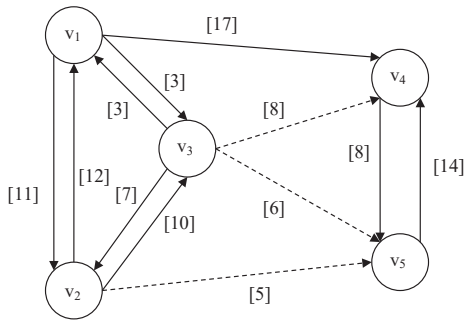


Рисунок 1 – Схема розташування мікрорайонів міста

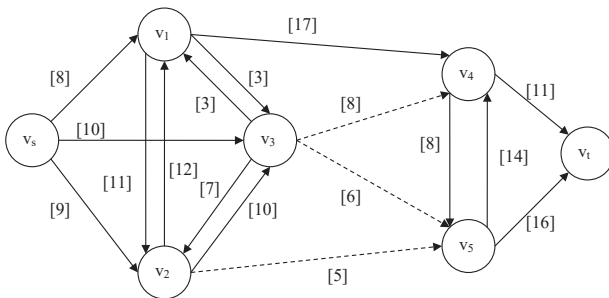


Рисунок 2 – Транспортна мережа із фіктивними джерелом та стоком

Побудуємо математичну модель задачі.
Цільова функція (1):

$$f = \max(y_{s1} + y_{s2} + y_{s3});$$

обмеження:

збереження балансу у вузлах (2)

$$y_{s1} + y_{21} + y_{31} = y_{12} + y_{13} + y_{14},$$

$$y_{s2} + y_{12} + y_{32} = y_{21} + y_{23} + y_{25},$$

$$y_{s3} + y_{13} + y_{23} = y_{31} + y_{32} + y_{34} + y_{35},$$

$$y_{14} + y_{34} + y_{54} = y_{45} + y_{4t},$$

$$y_{25} + y_{35} + y_{45} = y_{54} + y_{5t};$$

обмеження на пропускну спроможність (3)

$$0 \leq y_{s1} \leq 8,$$

$$0 \leq y_{s2} \leq 9,$$

$$0 \leq y_{s3} \leq 10,$$

$$0 \leq y_{12} \leq 11,$$

$$0 \leq y_{13} \leq 3,$$

$$0 \leq y_{14} \leq 17,$$

$$0 \leq y_{21} \leq 12,$$

$$0 \leq y_{23} \leq 10,$$

$$0 \leq y_{25} \leq 5,$$

$$0 \leq y_{31} \leq 3,$$

$$0 \leq y_{32} \leq 7,$$

$$0 \leq y_{34} \leq 8,$$

$$0 \leq y_{35} \leq 6,$$

$$0 \leq y_{45} \leq 8,$$

$$0 \leq y_{4t} \leq 11,$$

$$0 \leq y_{54} \leq 14,$$

$$0 \leq y_{5t} \leq 16;$$

комбінаторні обмеження (4)–(5)

$$y_{25} \leq x_{25},$$

$$y_{34} \leq x_{34},$$

$$y_{35} \leq x_{35},$$

$$x = (x_{25}, x_{34}, x_{35}) \in E_{32}(G),$$

де $G = \{0, 10^2\}$ (візьмемо $M = 10$, оскільки $10 > \max\{5, 6, 8\}$).

Моделлю розглянутої задачі є задачею евклідової комбінаторної оптимізації на перестановках.

Методи розв'язування. В [16] розглядається зведення комбінаторних задач на графах до задач математичного програмування та розв'язування їх за допомогою MS Excel. Зауважимо, що цей підхід незастосовний для задач (1)–(5), оскільки MS Excel працює з цілочисловими задачами, але не комбінаторними.

Для розв'язання задачі про побудову мостів може бути застосований один із загальних методів розв'язування евклідової комбінаторної оптимізації (наприклад, [1–3]). Але більш ефективно використовувати спеціальні методи розв'язування. В [8–11] розглядаються точні, наближені та евристичні методи розв'язування комбінаторних задач знаходження максимального потоку. Жадібний метод [10–11] дозволяє знайти розв'язок задачі за поліноміальний час, але він не гарантує оптимальність розв'язку. Метод гілок та меж дозволяє знайти точний розв'язок, а також може бути застосований для знаходження наближеного розв'язку. Найбільш ефективним є використання жадібного методу для знаходження початкового розв'язку, а потім методу гілок та меж для знаходження оптимального розв'язку.

Метод гілок та меж. Розглянемо метод гілок та меж для розв'язання задачі про побудову мостів [9]. Відкинемо комбінаторні умови (4)–(5) та отримаємо класичну задачу знаходження максимального потоку, для розв'язання якої відомі поліноміальні методи [12–14]. Нехай максимальний потік для класичної задачі дорівнює $|w|'$. Очевидно, що розв'язок початкової задачі не перевищить $|w|'$.

При фіксованих значеннях x_{ij} класичну задачу знаходження максимального потоку можна отримати, ввівши нові пропускі спроможності $b'_{ij} = \min\{b_{ij}, x_{ij}\}$.

Отже, розв'язок комбінаторної задачі знаходження максимального потоку можна отримати, розв'язавши $\frac{k!}{\eta_1! \eta_2! \dots \eta_s!}$ класичних задач знаходження максимального потоку та вибравши серед їх розв'язків максимальний (метод повного перебору). Метод гілок та меж дозволяє суттєво зменшити кількість класичних задач та спростити їх розв'язання.

Пронумеруємо всі дуги, на які накладені комбінаторні обмеження, в порядку спадання пропускних спроможностей: $u_1, u_2, \dots, u_k$. Тобто, u_1 – дуга u_{ij} , для якої значення n_{ij} максимальне серед дуг з комбінаторними обмеженнями, і т. д.

За початкове рекордне значення F_0 можна взяти деякий наближений розв'язок задачі, отриманий, наприклад, жадібним методом [10]. Початковим етапом (вершиною дерева пошуку) будемо вважати задачу без комбінаторних обмежень, оцінкою v – її розв'язок $|w|$.

Галуження будемо проводити наступним чином: візьмемо дугу u_z і покладемо відповідне значення x_{ij} почергово рівним усім допустимим різним значенням з G , починаючи з найменшого і закінчуючи найбільшим. Оцінкою v вершини дерева розв'язків будемо вважати розв'язок відповідної класичної задачі з пропускними спроможностями $b'_{ij} = \min\{b_{ij}, x_{ij}\}$. Якщо оцінка v перевищує поточне рекордне значення F_0 , то продовжуємо галуження, інакше – відсікаємо вершину.

Якщо $z = k$, тобто для усіх дуг, на які накладені додаткові комбінаторні обмеження, відповідним x_{ij} привласнені конкретні значення із мультимножини G , то оцінка v буде допустимим розв'язком вихідної задачі. Якщо розв'язок $F_i = v$, перевищує поточне рекордне значення F_0 , то приймаємо його за новий рекорд ($F_0 := F_i$).

Таким чином, змінюючи $z = 1, \dots, k$ та використовуючи пошук в глибину, знаходиться оптимальний розв'язок вихідної задачі.

Величина v є оцінкою відповідної вершини дерева розв'язків, оскільки врахування комбінаторного обмеження для кожної наступної дуги не може збільшити максимальний потік. Якщо $v \leq F_0$, де F_0 – поточне рекордне значення, то проводимо відсікання відповідної вершини, оскільки подальше галуження не дозволить покращити рекорд.

За умови $v > F_0$ ми продовжуємо галуження і фактично перебираємо всі варіанти, що потенційно можуть покращити рекордне значення. Тому розв'язок, отриманий за допомогою методу гілок та меж, є оптимальним.

Якщо потрібно знайти всі оптимальні розв'язки задачі, то умову відсікання потрібно замінити на $v < F_0$.

Зауваження. На кожному етапі галуження не обов'язково розв'язувати класичну задачу знаходження максимального потоку. Якщо значення u_{ij} у попередньому розв'язку не перевищує накладе-

ного на нього комбінаторного обмеження x_{ij} , то розв'язок задачі не змінюється.

В іншому випадку розв'язок класичної задачі можна суттєво спростити. Отримана задача буде відрізнятися від вже розв'язаної лише пропускною спроможністю однієї дуги u_{ij} . Порахувавши величину $u_{ij} - x_{ij}$, потрібно знайти маршрут (або маршрути) із джерела в стік, що проходить через цю дугу, і зменшити величину потоку по кожній з дуг маршруту на величину $u_{ij} - x_{ij}$. Після цього застосувати, наприклад, метод Едмондса і Карпа [14] і спробувати збільшити величину потоку.

Метод гілок та меж дозволяє знайти точний розв'язок задачі. Але можуть бути випадки вхідних даних, де він зводиться до повного перебору. Тому доцільним виглядає використання цього методу для одержання наближеного розв'язку. За наближений розв'язок на деякому етапі алгоритму можна взяти поточне рекордне значення F_0 . Оцінкою відносної похибки розв'язку може слугувати величина $\frac{v_{\max} - F_0}{F_0}$, де $v_{\max}$ – макси-

мальне значення оцінки серед нерозгалужених вершин дерева розв'язку.

ВИСНОВКИ. В роботі запропонована комбінаторна задача побудови мостів, побудована її математична модель та розглянуто методи її розв'язування. Розробка більш ефективних методів розв'язування задач такого типу залишається актуальною. Одним із перспективних шляхів є побудова наближених методів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стоян Ю. Г. Оптимізація на полірозміщеннях: теорія та методи / Ю. Г. Стоян, О. О. Ємець, Є. М. Ємець; Полт. ун-т споживчої кооперації Укр. Полтава : РВЦ ПУСКУ, 2005. 103 с.
2. Ємець О. О. Розв'язування ігрових задач з обмеженнями-полірозміщеннями на стратегії одного гравця: ітераційний метод типу Брауна-Робінсон / О. О. Ємець, Ол-ра О. Ємець, І. М. Поляков. *Вісник Запорізького національного університету : збірник наукових статей. Фізико-математичні науки.* 2020. № 1. С. 38–45.
3. Ємець О. А., Барболина Т. Н. Комбінаторная оптимізація на розміщеннях. Київ : Наук. думка, 2008. 159 с.
4. Ємець О. О., Ольховська О. В. Розв'язування комбінаторних задач ігрового типу з обмеженнями-представленнями у обох гравців: ітераційний метод. Системні дослідження та інформаційні технології. 2012. № 4. С. 80–93.
5. Ємець О. О. Метод гілок і меж розв'язування задач оптимізації лінійної цільової функції на розміщеннях з імовірнісною невизначеністю / О. О. Ємець,

Т. М. Барболіна. *Вісник Запорізького національного університету* : збірник наукових статей. Фізико-математичні науки. 2018. № 2. С. 43–54.

6. Емец О. А., Емец А. О., Поляков И. М. Критерий ребра общего многогранника размещений. *Кибернетика и системный анализ*. 2018. № 5. С. 128–138.

7. Емец Е. М., Олексійчук Ю. Ф. NP-трудность комбинаторной задачи нахождения максимального потока. *Таврический вестник информатики и математики*. 2012. № 2. С. 36–44.

8. Ємець О. О., Ємець Є. М., Олексійчук Ю. Ф. Знаходження максимального потоку в мережі з додатковими комбінаторними обмеженнями. *Таврический вестник информатики и математики*. 2011. № 1. С. 43–50.

9. Ємець О. О., Ємець Є. М., Олексійчук Ю. Ф. Комбінаторна задача знаходження максимального потоку та метод гілок та меж для її розв'язування. *Вісник Запорізького національного університету* : збірник наукових статей. Фізико-математичні науки. 2012. № 1. С. 91–98.

10. Ємець О. О., Ємець Є. М., Олексійчук Ю. Ф. Жадібний метод розв'язання комбінаторної задачі знаходження максимального потоку в мережі. Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки : зб. наук. праць. Кам'янець-Подільський:

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. 2012. Вип. 7. С. 93–99.

11. Ємець О. О., Ємець Є. М., Олексійчук Ю. Ф. Поліноміальний метод наближеного розв'язання комбінаторної задачі знаходження максимального потоку в мережі. *Доповіді Національної академії наук України*. 2013. № 4. С. 33–37.

12. Форд Л., Фалкерсон Д. *Потоки в сетях*. Москва : Мир, 1966. – 277 с.

13. Ху Т. Ч., Шинг М. Т. *Комбинаторные алгоритмы*. Нижний Новгород : Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н. И. Лобачевского, 2004. – 330 с.

14. Edmonds J., Karp R. M. Theoretical improvements in algorithmic efficiency for network flow problems. *ACM*. 1972. Vol. 19, № 2. P. 248–264.

15. Гуцул Т. В. Мультиагентна оптимізація планування потоків дорожньої мережі: особливості мурашиного алгоритму. Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт.; гол. ред. М. М. Осетрін. Київ : КНУБА, 2016. Вип. 62, ч. 1. С. 179–185.

16. Семенец С. Н., Насонова С. С. Моделирование комбинаторных задач на графах в терминах задачи математического программирования. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. 11 (212). С. 73–80.

COMBINATORIAL PROBLEM OF BUILDING BRIDGES AND METHODS OF ITS SOLUTION

Yuriy Oleksiychuk

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at Department of Computer Science and Information Technology
Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, 36000, olexijchuk@gmail.com;
ORCID: 0000-0002-0585-3307

Dmytro Olkhovsky

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at Department of Computer Science and Information Technology
Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, 36000, dmitriy@olhovsky.name;
ORCID: 0000-0003-0313-6977

Olena Olkhovska

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at Department of Computer Science and Information Technology
Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, 36000, lena@olhovsky.name;
ORCID: 0000-0001-5366-5995

Tatiana Chilikina

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at Department of Computer Science and Information Technology
Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, 36000, tv.0502@gmail.com;
ORCID: 0000-0002-0585-3307

Oksana Chernenko

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at Department of Computer Science and Information Technology

Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, 36000, oksanachernenko7@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-9084-0999**Oksana Orikhivska**

Senior Lecturer at Department of Computer Science and Information Technology

Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, 36000, aka.jeita@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-2775-0832

The combinatorial problem of optimization of bridge construction is considered in the work. Let there be a city that is located on the banks of the river. The city consists of neighborhoods that are connected by roads. Maximum capacity is known for roads. To better connect the shores, it is planned to build several bridges with known capacity. But not all of these bridges can be built at once. The task is to select a certain number of bridges from the planned ones, which will be built primarily in order to maximize traffic flow between the shores. The problem can be reduced to the combinatorial problem of finding the maximum flow by introducing a fictitious source and a fictitious drain. In the general case, the task is NP-difficult. If we reject the combinatorial constraints, the problem is reduced to the problem of finding the maximum flow in the transport network, for which polynomial algorithms are known. Also, the problem of building bridges can be reduced to the problem of Euclidean combinatorial optimization on permutations. Many solving methods have been developed for such problems. One of the general methods for Euclidean combinatorial permutation optimization problems can be used to solve the problem. Special methods have been built for combinatorial problems of finding the maximum flow. For example, the greedy method and the method of branches and boundaries. The greedy method is heuristic. In terms of time, it is polynomial, but does not always allow to find the exact solution. The method of branches and boundaries can be used to find both the exact solution and the approximate one.

Key words: problem of bridge construction, combinatorial optimization, combinatorial problem of finding the maximum flow, problem of Euclidean combinatorial optimization on permutations, method of branches and boundaries.

REFERENCES

1. Stoyan, Yu. G., Yemets, O. O., Yemets, E. M. (2005) *Optimizatsiia na polirozmishchenniakh: teoriia ta metody* [Optimization on polyplastings: theory and methods]. Polt. University of Consumer Cooperation Ukr. – Poltava : RVC PUSKU. – 103 p. [in Ukrainian]
2. Yemets, O. O., Yemets, O. O., Polyakov, I. M. (2020) *Rozviazuvannia ihrovykh zadach z obmezheniamy-poliromishchenniamy na stratchii odnogo hravtsia: iteratsiinyi metod typu Brauna-Robinson* [Solving game problems with constraints-polylocations on the strategy of one player: an iterative method of the Brown-Robinson type] // *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu : Zbirnyk naukovykh statei. Fyzyko-matematychni nauky* [Bulletin of Zaporizhia National University : Collection of scientific articles. Physical and mathematical sciences]. – № 1. – P. 38–45. [in Ukrainian]
3. Yemets, O. A., Barbolina, T. N. (2020) *Kombynatornaia optymizatsiia na razmeshcheniakh* [Combinatorial optimization on placements]. – K. : Nauk. Dumka. – 159 p. [in Russian]
4. Yemets, O. O., Olkhovskaya, O. V. (2012) *Rozviazuvannia kombinatornykh zadach ihrovoho typu z obmezheniamy-perestavlianniamy u obokh hravtsiv: iteratsiinyi metod* [Solving combinatorial problems of game type with constraints-permutations in both players: iterative method] // *Systemni doslidzhennia ta informatiini tekhnologii*. [System research and information technology]. – № 4. – P. 80–93. [in Ukrainian]
5. Yemets, O. O., Barbolina, T. N. (2018) *Metod hilok i mezh rozviazuvannia zadach optymizatsii liniinoi tsilovoi funktsii na rozmeshcheniakh z imovirnisnoi nevyznachenistiu* [Method of branches and boundaries of solving problems of optimization of linear objective function on placements with probability uncertainty] // *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu : Zbirnyk naukovykh statei. Fyzyko-matematychni nauky* [Bulletin of Zaporizhia National University : Collection of scientific articles. Physical and mathematical sciences]. – № 2. – P. 43–54. [in Ukrainian]
6. Yemets, O. A., Yemets, A. O., Polyakov, I. M. (2018) *Kryteryi rebra obshcheho mnohohrannyka razmeshchenyi* [Criteria for an edge of a common placement polyhedron] // *Kybernetyka y systemnyi analiz* [Cybernetics and System Analysis]. – № 5. – P. 128–138. [in Russian]
7. Yemets, E. M., Oleksychuk, Yu. F. (2012) *NP-trudnost kombynatornoi zadachy nakhozhdennia maksymalnoho potoka* [NP-hardness of the combinatorial problem of finding the maximum flow] // *Tavrycheskyi vestnyk ynformatyky y matematyky* [Tauride Bulletin of Informatics and Mathematics]. – № 2. – P. 36–44. [in Russian]
8. Yemets, O. A., Yemets, E. M., Oleksychuk, Yu. F. (2011) *Znakhodzhennia maksymalnoho potoku v merezhi z dodatkovyimi kombinatornymy obmezheniamy* [Finding the maximum flow in a network with additional

combinatorial constraints] // Tavrycheskyi vestnyk ynfornatyky y matematyky [Tauride Bulletin of Informatics and Mathematics]. – № 1. – P. 43–50. [in Ukrainian]

9. Yemets, O. O., Yemets, E. M., Oleksiychuk, Yu. F. (2012) Kombinatorna zadacha znakhodzhennia maksymalnoho potoku ta metod hilok ta mezh dla yii rozviazuvannia [Combinatorial problem of finding the maximum flow and the method of branches and boundaries for its solution] // Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu : Zbirnyk naukovykh statei. Fizyko-matematychni nauky [Bulletin of Zaporizhia National University : Collection of scientific articles. Physical and mathematical sciences]. – № 1. – P. 91–98. [in Ukrainian]

10. Yemets, O. O., Yemets, E. M., Oleksiychuk, Yu. F. (2012) Zhadibnyi metod rozviazannia kombinatornoi zadachi znakhodzhennia maksymalnoho potoku v merezhi [Greedy method for solving the combinatorial problem of finding the maximum flow in the network] // Matematychna ta kompiuterna modeliuvannia. Serii: Fizyko-matematychni nauky : zb. nauk. prats [Mathematical and computer modeling. Series: Physical and Mathematical Sciences : Coll. Science. Proceedings]. – Kamenets-Podolsky : Kamenets-Podolsky National University named after Ivan Ogiienko. – Issue 7. – P. 93–99. [in Ukrainian]

11. Yemets, O. O., Yemets, E. M., Oleksiychuk, Yu. F. (2013) Polinomialnyi metod nablyzhenoho rozviazannia kombinatornoi zadachi znakhodzhennia maksymalnoho potoku v merezhi [Polynomial method of approximate solution of the combinatorial problem of finding the maximum flow in the network] // Dopovidi Natsionalnoi

akademii nauk Ukrainy [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. – № 4. – P. 33–37. [in Ukrainian]

12. Ford, L., Fulkerson, D. (1966) Potoky v setiakh [Flows in networks]. – M. : Mir. – 277 p. [in Russian]

13. Hu, T. Ch., Shing, M. T. (2004) Kombynatornie alhorytmu [Combinatorial algorithms]. – Nizhny Novgorod : Publishing House of the Nizhny Novgorod State University. N. I. Lobachevsky. – 330 p. [in Russian]

14. Edmonds, J., Karp, R. M. (1972) Theoretical improvements in algorithmic efficiency for network flow problems // J. ACM. – Vol. 19, № 2. – P. 248–264.

15. Hutsul, T. V. (2016) Multyahentna optymizatsiia planuvannia potokiv dorozhnoi merezhi: osoblyvosti murashynoho alhorytmu [Multi-agent optimization of road network flow planning: features of the ant algorithm] // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia : nauk.-tekhn. zb. [Urban planning and territorial planning : science and technology. coll.] / Kyiv. national University of Civil Engineering and Architecture; Goal. ed. M. M. Ossetrin. – Kyiv : KNUBA. – Issue 62, part 1. – P. 179–185. [in Ukrainian]

16. Semenets, S. N., Nasonova, S. S. (2015) Modelyrovanye kombynatornykh zadach na hrafakh v termynakh zadachy matematycheskoho prohrammyrovanyia [Modeling of combinatorial problems on graphs in terms of mathematical programming problems] // Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury [Bulletin of the Dnipro State Academy of Construction and Architecture], 11 (212). – P. 73–80. [in Russian]

Стаття надійшла 11.03.2022

CORE PHP AND PHP FRAMEWORKS: COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO APPROACHES FOR BACKEND DEVELOPMENT

Marian Slabinoha

PhD in Engineering,

Associate Professor at Computer Systems and Networks Department

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Karpatska str., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019, marian.slabinoha@nung.edu.ua;

ORCID: 0000-0002-7296-0356

The purpose of this paper is to compare two approaches of backend development using the PHP programming language – Core PHP and PHP frameworks. Both approaches are popular, but, as in every other language, using frameworks saves developer time and allows him not to implement routine connected with the trivial operations.

Still, when we are talking about performance and “weight” of the web-application, we can say that using frameworks often includes a lot of redundant and unnecessary code from packages that are used, and a lot of web-developers don't control that. As a result, the developed web-applications become heavier and consume more resources of server systems. Moreover, frameworks approach is often used for very simple applications that can be easily implemented using Core PHP and based on a few files of code. This creates unnecessarily large projects solving the small and simple tasks.

The aim of this paper is to highlight the advantages and disadvantages of PHP web development using Core PHP and PHP frameworks. The security and performance are investigated mostly, but some smaller things are taken into account as well. The recommendations on using both approaches are given to provide most effective combination of development experience and performance.

As the result of comparison analysis, the framework-like MVC application architecture is proposed to build tiny lightweight web applications for custom tasks (in our case, the vocabulary website). The structure of the application is provided and key development things are highlighted (using Core PHP).

The perspectives of modification for solving trivial problems like RESTful backend app or bearer token authentication are discussed.

Key words: sustainable web development, performance optimization, PHP frameworks, MVC architecture, Core PHP.

PHP has been one of the most popular backend developments for a long time. LAMP stack as the platform configuration remains the most popular way to host the web-sites. According to W3Techs [1], 77.4 % of websites whose server-side programming language is known, use PHP.

PHP started as the scripting language, but soon became the powerful tool for the “classic” programming approach. As a result, a lot of different frameworks that used PHP as a basic programming language were developed and released. Of course, this made developers work easier and less time consuming, providing all-in-one popular functionality of the application.

However, the performance of the PHP frameworks remains questionable, compared to Core PHP. Moreover, a lot of small backend web applications are written using PHP frameworks and include a lot of redundant code from different packages, so most functions from these packages remain unused.

The aim of this paper is to compare two approaches and give the recommendations regarding usage of each approach depending on the project characteristics.

So, when we are talking about the difference between using Core PHP and PHP frameworks, a couple of things should be considered. First of all (and this is the main purpose of the frameworks) is the convenience of the development process. PHP frameworks are known to be time-saving while developing large applications [2]. The reason of this frameworks approach advantage is including the packages that solve standard web development routine in your project without having to write it from scratch. This includes the authorization process, routing and using the database as an abstraction. Developers can simply use the pre-developed functions without writing them by themselves.

Second big advantage of the framework is team interaction during the development process. Core PHP requires the developer team to agree on a lot of small and big things – how to break the app structure into files, packages or object-oriented programming entities, etc. In the case of a framework you already have the skeleton of your project and stick to the design recommendations of that framework.

Easy maintenance and scalability is the next advantage of PHP frameworks [3]. The requests,

loading balance and many other things connected with the app performance are already developed and configured when using frameworks. This allows you to build relatively big and complex applications without worrying about how it will behave when the number of customers increases.

When talking about advantages of using Core PHP, the first one that comes to mind is controlling all your code. When developer builds the application from scratch and does it in the proper way, using KISS (Keep It Simple Stupid) and DRY (Don't Repeat Yourself) principles, he gets the application that is fully transparent and traceable. This allows the developer to rely on himself at major part of the code and not to worry about packages updates, version conflicts, etc.

But the key advantage of the Core PHP is performance. Author of the paper [4] gives the detailed analysis of CRUD (Create – Read – Update – Delete) operations performance for Core PHP and popular frameworks – Phalcon, CodeIgniter, Laravel and Symphony. According to the research, the fastest framework (Phalcon) application executed CRUD operations more than 2 times slower than Core PHP application, while the most popular PHP framework, Laravel, was up to 400 times slower than Core PHP.

Worth to note that usage of Core PHP is not just about the performance, but also improves the resource usage. In example, according to [2], create action consumes 0.14 Megabytes of memory in Core PHP, 0.17 Megabytes when using Phalcon and 9.42 Megabytes when using Laravel. This is directly connected with the number of called functions during this operation, which is equal to 50 in Core PHP 225 for Phalcon and 1253 for Laravel. The difference between these numbers is significant.

Thus, in the projects that don't require much scalability and are not very complicated we need to omit the usage of the frameworks. Based on the information provided by HTTP Archive [5], the average web page size in 2010 was 702 KB compared to in 2016 which is 2232 KB. With the increase in size of every web component and the addition of video, web page size has increased by 1,530 KB or 317 % from 2010 to 2016. Developers should keep in mind that every request their application consumers do to the server is the electricity consumption as well as working resource of the server devices.

The last but not least point in discussing the Core PHP and PHP Frameworks is the security. This point is where we can summarize the comparison,

because the same thing applies to all aspects of web application web development. Everything that is done in terms of security in frameworks, obviously can be implemented in Core PHP. When using the Core PHP, you'll get clear traceable code that uses minimal amount of resources and executes faster, but the whole development process will be significantly more time consuming and complicated than the development process that uses frameworks. Also, the bigger the Core PHP project, the harder it will be to support and develop, especially when working in a team.

So, the conclusions of the comparative analysis are:

- 1) if a project is large in terms of scope, is expected to be scaled in future and is developed by a team, it's better to use PHP frameworks;
- 2) if the project is relatively small and simple, amount of customers is known and it is supported by small group of developers or single developer, it's better to use Core PHP to keep the project simple and avoid unnecessary resource consumption.

The main question that remains after these conclusions is how do we keep the advantages of MVC architecture when not using MVC framework. Let's consider the simple example – dictionary application to store and search through translations of words and word combinations between English and Ukrainian languages. The database structure contains the following tables:

- categories (to store translation categories);
- en_lang_parts (to store the names of English language parts);
- invitations (to store the invitations that administrator sends to the potential editors);
- remarks (to store the editions made by editors into existing translations);
- roles (to store user roles);
- translations (to store the translations and it's context);
- ua_lang_parts (to store the names of Ukrainian language parts);
- users (to store the user data).

The sitemap of the project is given on Fig. 1.

The functionality of the project is achieved through the structure shown on Fig. 2.

Root project folder contains two folders (app and assets) and three files:

- config.php file is used to store environment variables like database credentials, project root folder path, project URL etc;
- .htaccess file contains the configuration for Apache. The main purpose of this file in this project

is to map all requests to index.php, no matter what the sub-URL is;

- index.php file reads the config.php file and calls the router, which is located in app folder.

Assets folder contains three folders:

- css – for all CSS files of the project;

- js – for all the scripts;

- img – for all the images in the project.

App folder contains two files and three folders:

- router.php file checks the current url the user is located at and loads proper controller to show the page;

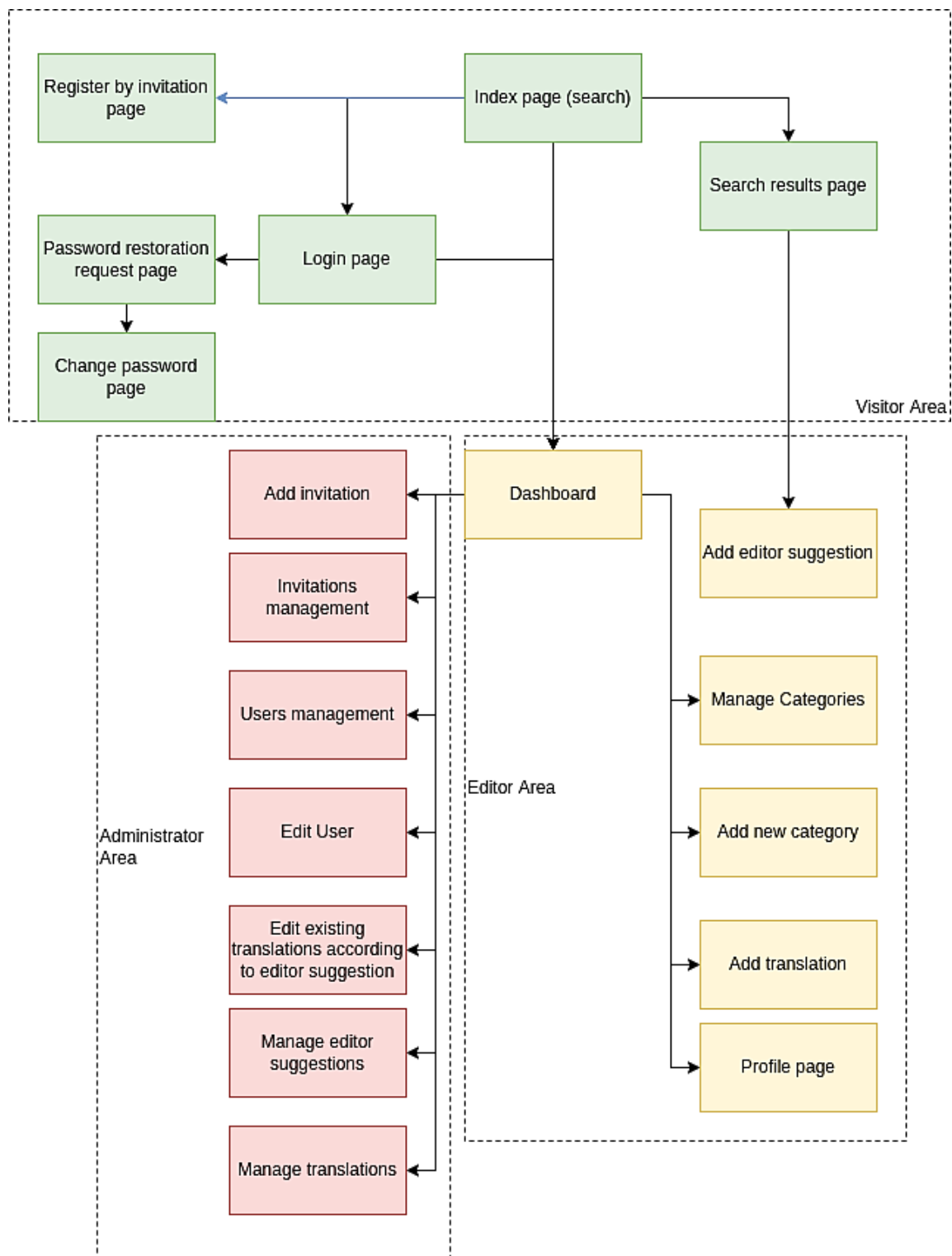


Figure 1 – Project sitemap

- dbconnect.php creates the mysql connection using the credentials so it can be used by models later;
- models folder contains the models for each project entity that are represented with a file that contains the number of functions providing CRUD implementation and additional functionality (like checking the email for availability during registration;
- controllers folder contains the controller files (one for each project page) that call the proper models to provide the data and includes views to create server-side rendering of the result page;
- views folder contains html code fragments for common parts (like header and footer) and specific pages).

This structure is an example of how a simple application can be implemented with Core PHP in an MVC way. Because the whole application is server-side rendered, we can manage access using the PHP sessions. However, if we need to make the app universal for any web clients, it's better to provide an API and use RESTful architecture. For this, we only need to modify the app excluding views and replacing them by generating proper JSON-formatted responses in controllers and control the API calls through the `$_SERVER["REQUEST_METHOD"]` variable (to

retrieve the post type). To authenticate the web client, Bearer token can be used and retrieved through processing of the `$_SERVER['HTTP_AUTHORIZATION']` variable.

In conclusion, it is worth to note that cleanness and performance of each application is mostly dependent on developer skills and his ability to simplify the developed apps. Avoiding unnecessary complexity is the key step to build a sustainable web environment, and this is the task of every developer.

Acknowledgements. Author wants to thank the Armed Forces of Ukraine and all the defenders of Ukraine that give us the possibility to proceed scientific and engineering work in time of war.

REFERENCES

1. Usage statistics of PHP for websites. (2022). *W3Techs*. Retrieved May 25, 2022, from: <https://w3techs.com/technologies/details/pl-php>
2. Piróg, W. (2018). *How a PHP framework can speed up the development process*. Polcode. Retrieved May 25, 2022, from: <https://polcode.com/resources/blog/how-a-php-framework-can-speed-up-the-development-process/>
3. eTatvaSoft. (2016). *Basic difference in Web Development with Core PHP and PHP Frameworks*. eTatvaSoft. Retrieved May 25, 2022, from: <https://www.etatvasoft.com/blog/basic-difference-in-web-development-with-core-php-and-php-frameworks/>

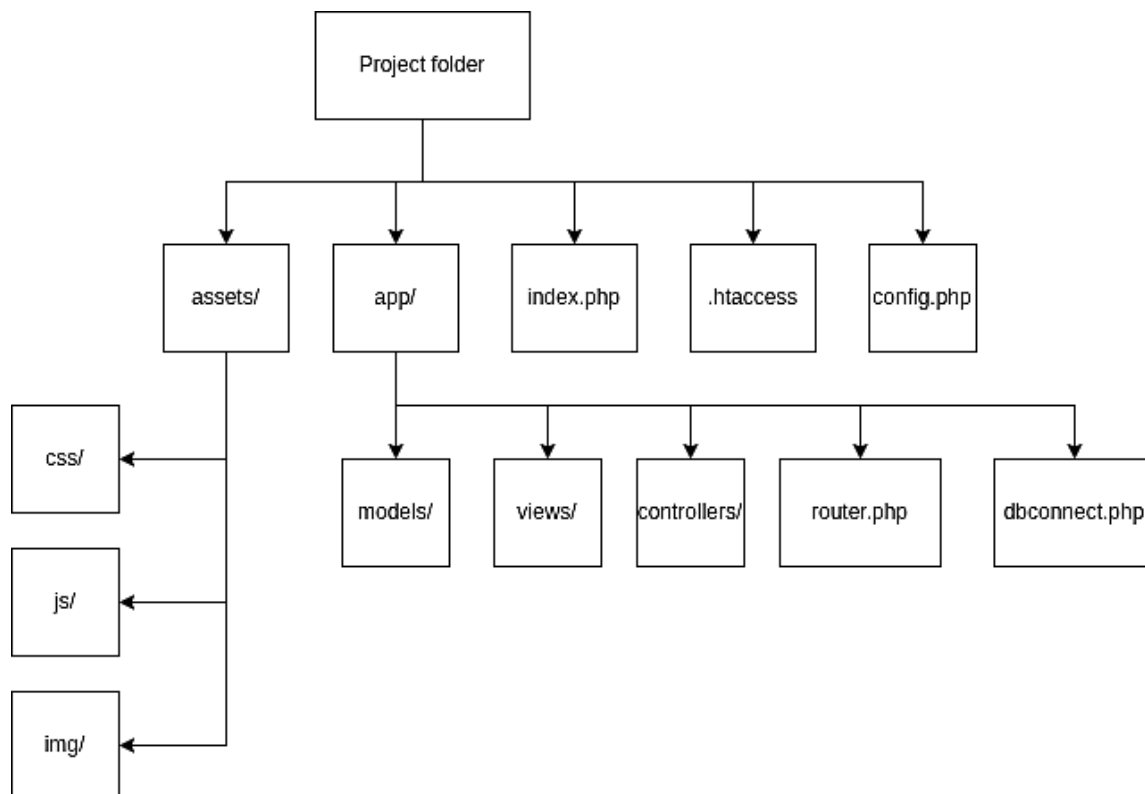


Figure 2 – Project structure

4. Samra, J. (2015). Comparing Performance of Plain PHP and Four of Its Popular Frameworks (Dissertation). Retrieved from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-45691>

5. KeyCDN. (2018). *The Growth of Web Page Size*. Retrieved May 25, 2022, from: <https://www.keycdn.com/support/the-growth-of-web-page-size>

CORE PHP ТА PHP ФРЕЙМВОРКИ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДВОХ ПІДХОДІВ ДО РОЗРОБКИ СЕРВЕРНИХ ДОДАТКІВ

Мар'ян Слабінога

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна, 76019, marian.slabinoha@nuing.edu.ua;

ORCID: 0000-0002-7296-0356

Метою даної роботи є порівняння двох підходів розробки серверних додатків з використанням мови програмування PHP – Core PHP («чистого PHP») і PHP фреймворків. Обидва підходи популярні, але, як і в будь-якій іншій мові, використання фреймворків економить час розробника і дозволяє йому не реалізовувати рутину, пов'язану з тривіальними операціями.

Однак, коли ми говоримо про продуктивність і розміри веб-додатка, можна сказати, що використання фреймворків часто включає багато зайвого та непотрібного коду з пакетів, які використовуються. Часто, веб-розробники не приділяють достатньо уваги контролю за цими процесами, в результаті чого розроблені веб-додатки стають важчими і споживають більше ресурсів серверних систем. Більше того, підхід з використанням фреймворків часто використовується для дуже простих додатків, які можна легко реалізувати за допомогою Core PHP і на основі кількох файлів коду. Це створює невинуватено великі проекти, що вирішують дрібні та прості завдання.

Мета цієї статті – висвітлити переваги та недоліки веб-розробки PHP з використанням Core PHP та PHP фреймворків. Здебільшого досліджуються безпека та продуктивність, але враховуються й деякі менш критичні речі. Надано рекомендації щодо використання обох підходів, щоб забезпечити найбільш ефективне поєднання досвіду розробки та продуктивності.

В результаті порівняльного аналізу пропонується MVC архітектура додатка, подібна до фреймворку, для створення невеликих легких веб-додатків для користувацьких завдань (у нашому випадку, веб-сайт словник). Надається структура програми та виділено ключові моменти розробки (за допомогою Core PHP).

Обговорюються перспективи модифікації для вирішення тривіальних проблем, таких як серверний додаток RESTful або аутентифікація з допомогою Bearer-токенів.

Ключові слова: веб-розробка в контексті сталого розвитку, оптимізація продуктивності, PHP-фреймворки, архітектура MVC, «чистий» PHP.

ЛІТЕРАТУРА

1. Онлайн ресурс Web Dev : веб-сайт. URL: <https://web.dev> (дата звернення: 25.05.2022).

2. Онлайн ресурс Polcode. How a PHP framework can speed up the development process : веб-сайт. URL: <https://polcode.com/resources/blog/how-a-php-framework-can-speed-up-the-development-process/> (дата звернення: 25.05.2022).

3. Онлайн ресурс eTatvaSoft – Basic difference in Web Development with Core PHP and PHP Frameworks :

веб-сайт. URL: <https://www.etatvasoft.com/blog/basic-difference-in-web-development-with-core-php-and-php-frameworks/> (дата звернення: 25.05.2022).

4. Samra J. Comparing Performance of Plain PHP and Four of Its Popular Frameworks: Dissertation on Computer Sciences. Linnaeus University, Kalmar, 2015. 33 p.

5. Онлайн ресурс KeyCDN – The Growth of Web Page Size : веб-сайт. URL: <https://www.keycdn.com/support/the-growth-of-web-page-size> (дата звернення: 25.05.2022).

Стаття надійшла 03.03.2022

ПОСИЛЕННЯ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НИЖНІХ ШАРІВ МАСИВУ ПІД ЧАС ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ

Лариса Воробйова

кандидат технічних наук,
доцент кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, larivorobiova@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5333-6091

Віктор Воробйов

доктор технічних наук,
професор кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, vvv.imit@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-3446-4714

Ірина Пєсва

кандидат технічних наук,
доцент кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, ipeeva@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-4916-7381

Андрій Черницький

аспірант кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, andrii.chernytskyi@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-8414-5132

Робота присвячена промисловій перевірці ефективності розробленої нової конструкції свердловинного заряду вибухової речовини при уступній відбійці гірських порід на залізорудних кар'єрах. Досліджено особливості процесу вибухового руйнування гірських порід при формуванні підвищеного динамічно нерівномірного навантаження нижніх шарів блоку, яке утворюється інертною вставкою (концентратором ударних хвиль) в донній частині свердловини.

Розроблена конструкція свердловинного заряду за рахунок зміни характеру взаємодії детонаційних хвиль з дном свердловини дозволяє зосередити енергію вибуху в зоні перебуру. Проведені дослідження дозволили встановити вплив параметрів концентратора ударних хвиль та фізико-механічних властивостей гірської породи на характер її руйнування (гранулометричний склад, діаметр середнього шматка, вихід негабариту). При цьому за рахунок зниження динамічного впливу відбитої ударної хвилі на матеріал забійки при використанні свердловинних зарядів з концентратором ударних хвиль в донній частині збільшується час перебування в заряді і тривалість впливу ПД на масив, що підвищує кінцеву ефективність механічної дії вибуху.

Вперше досліджено вплив величини кута конічного концентратора ударних хвиль на характер дроблення гірської породи. Встановлено, що при $\alpha = 30^\circ$, за рахунок того, що забійка довше залишається в заряді, досягається найкраще дроблення (зменшення діаметра середнього шматка склало майже 13 % порівняно з контрольною ділянкою, де використовували звичайні заряди).

Проведені промислові дослідження показали, що за рахунок застосування нової конструкції свердловинного заряду можна в 1,7 рази зменшити величину перебуру та на 10–12 % знизити діаметр середнього шматка зруйнованої гірської маси.

Ключові слова: вибухова речовина, гірська порода, концентратор ударних хвиль, свердловинний заряд, продукти детонації, ефективність.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Буропідривні роботи (БПР) при розробці рудних і нерудних родовищ займають домінуюче положення. Будучи початковим процесом технології здобичі, ці роботи визначають ефективність усіх наступних процесів: від вантаження і транспортування до механічного дроблення і переробки мінеральної сировини. Рівномірність і великість дроблення масиву, відсоток виходу негабарита, опрацювання підосви уступу, ширина розвалу гірської маси – ці й інші характеристики в основному визначають якість проведених БПР. Нині для отримання проектною відмітки підосви уступу використовується перебур свердловин. Але використання перебура має свої істотні недоліки. Враховуючи високу собівартість буріння свердловин на кар'єрах, одним з основних недоліків перебура є додаткові витрати на буріння [1–3].

Одним із найбільш ефективних технологічних методів, який знижує величину перебура, висоту порогів між свердловинами? є правильний вибір конструкції заряду вибухової речовини (ВР). Конструкція свердловинного заряду ВР визначає його геометричні, енергетичні і просторові параметри в руйнівному масиві гірських порід, а також забезпечує можливість управління часом передачі енергії вибуху заряду ВР у довкілля [1].

МЕТА СТАТТІ – промислова перевірка ефективності розробленої конструкції свердловинного заряду з інертною вставкою (концентратором ударних хвиль – КУХ).

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Нині поширено декілька основних напрямів, які сприяють зменшенню величини перебура [1; 3]. Одним із основних вважається конструкція заряду: це застосування зарядів змінного перерізу за висотою уступу, а також зарядів, що поєднують різні форми зарядної порожнини. Застосування зарядів зі сферичними і циліндричними котлами в донній частині свердловини в основному поширене при вибуховому руйнуванні порідних масивів, що містять пласти, які складно дробити. Під час вибуху сферичного заряду радіальні тріщини на всіх напрямках розвиваються рівномірно, що покращує дроблення в нижній частині свердловини. Проте внаслідок швидкого убування напруги на фронті хвилі на порівняно невеликих відстанях від заряду розвиток тріщин вже припиняється, через що виходить нерівномірне дроблення породи. Тому заряди цієї конструкції застосовують за наявності в масиві пластів малої потужності і підвищеної міцності. Застосування

котельних зарядів циліндричної і конусоподібної форм дозволяє підвищити якість дроблення гірської маси в донній частині свердловини і зменшити величину перебура при підриванні першого ряду свердловин за рахунок збільшення кількості ВР у свердловині [1].

Можливим варіантом зниження величини перебура є застосування заряду змінного перерізу за висотою уступу, що має в поперечному перерізі виїмку, яка забезпечує спрямованість дії вибуху. Утворення порожнини з такою конфігурацією можливо досягається за допомогою застосування спеціальної технології буріння вибухових свердловин верстатами вогнеструминного буріння.

Незважаючи на переваги розглянутих конструкцій зарядів, вони не знаходять широкого застосування, особливо на кар'єрах будматеріалів, оскільки утворення свердловинних порожнин складної форми вимагає наявності спеціального бурового устаткування і збільшує вартість БВР.

Одним із напрямів розробки раціональних конструкцій свердловинних зарядів, сприяючих зниженню величини перебура і опрацюванню підосви уступу, є заряди з повітряними або водними проміжками в донній частині свердловини [1]. При дробленні гірської породи необхідно, щоб хвиля стискування, утворена вибухом свердловинного заряду, мала амплітуду вище за межу міцності руйнованої гірської породи. Це можна досягти за рахунок щільного примикання заряду до стінок зарядної порожнини. Зниження початкового тиску в зарядній порожнині за рахунок можливості розширення ПД на початковій стадії вибуху можливо тільки за рахунок повітряних проміжків, розташованих між окремими частинами заряду уздовж його осі. При застосуванні розосереджених свердловинних зарядів з повітряними проміжками спостерігається зниження підосви уступу (як наслідок цього з'являється можливість зниження величини перебура), верхня частина уступу і підосва дробляться значно краще, ніж при суцільному заряді або розосередженому інертною забійкою. На величину перебура, а також на якість опрацювання підосви уступу істотно впливає вибір точки і напрям ініціації свердловинного заряду, а також створення уповільнень між різними частинами заряду.

Одним із методів підвищення ефективності використання енергії ВР для інтенсивного і рівномірного дроблення гірських порід є підривання високих (більше 15 м) уступів, застосування якого дозволяє створювати значні запаси підриваної гірської маси [3]. Проте застосування під-

ривання високих уступів приводить до зростання лінії опору по підшві (ЛОПП) до 20–30 м.

Таким чином, опрацювання підшви уступів не повною мірою відповідає вимогам, що пред'являються до якості підірваної маси. На кар'єрах НКГЗК при використанні в першому ряду вертикальних парно зближених свердловин у випадках збільшеної (до 22 м) ЛОПП ці показники були дуже низькими. При використанні в першому ряду пар похилих (кут нахилу складав 75°) вертикальних свердловин показники дроблення і опрацювання підшви істотно поліпшилися, хоча величини ЛОПП досягали 25–26 м.

Збільшення ефективності опрацювання підшви уступу значною мірою залежить від величини і якості забійки. Чим довше забійка утримується в зарядній порожнині, тим довше газоподібні ПД, що проникли в утворені ударною хвилею тріщини, роблять руйнування в донній частині свердловини. Тому застосування раціональних конструкцій забійок, які дозволяють замикаєти газоподібні ПД, призводить до поліпшення опрацювання підшви уступу [4; 5].

Виконані авторами теоретичні і лабораторні дослідження показали [6; 7], що форма донної частини заряду робить істотний вплив на стан поверхні і рівень підшви уступу після вибуху. Різні форми донної частини пропонується виконувати за допомогою концентраторів ударних хвиль (КУХ). Таким чином, використовуючи отримані результати, можна запропонувати конструкцію заряду, в якій на дні свердловини розташований КУХ (виготовлений, наприклад з бетону). Це дозволить понизити величину перебура свердловинних зарядів, вийти на проектну відмітку підшви уступу і забезпечити необхідний гранулометричний склад підірваної маси.

Використання КУХ з похилою поверхнею найбільш ефективно при установці їх в першому ряду свердловин, де величина ЛОПП максимальна, проте орієнтування цього пристрою у свердловині пов'язане з визначеними труднощами, тому при виконанні промислових експериментів використали вставки з конусною поверхнею. КУХ виготовляли з піщано-цементної суміші, із співвідношенням піску і цементу марки 400 як 2:1. Перевірка результатів лабораторних досліджень була проведена в умовах ПрАТ «Полтавський ГЗК» (м. Горишні Плавні).

Нині на ПГЗК розробляються три групи корисних копалини: основні корисні копалини, представлені різноманітними текстурно-мінералогічними і технологічними типами залізистих

кварцитів, належних Горишне-Плавнинському і Лавриківському родовищам; супутні нерудні матеріали з тих, що вміщують бокові скельні породи (амфіболіти, сланці, безрудні роговики, плагіо-граніти); супутні нерудні матеріали зі вскришних рихлих порід кайнозою (піски, мергельні глини, суглинки). Середня потужність кварцитів на Лавриківській ділянці складає 78 м, на Горишне Плавнинській – 160 м, довжина покладу в межах обох ділянок складає 7,5 км. Коефіцієнт міцності за шкалою професора Протод'яконова рівний 15–20. Середній зміст заліза загального в магнетитових кварцитах змінюється в межах 26–36 %, а заліза, пов'язаного з магнетитом, – від 16 до 38 %.

Параметри БВР, які використовували при проведенні промислових експериментів: сітка свердловин $5,5 \times 6,5$ м; глибина – 10–14 м; діаметр свердловин – 0,25 м; тип ВР – анемікс 70; питома витрата ВР – 0,8–0,9 кг/м³.

Промислові дослідження проводилися методом порівняння результатів вибухів свердловинних зарядів суцільної конструкції і зарядів з КУХ в донній частині, що висаджуються в повітря на одному блоці. Критерієм оцінки ефективності досліджуваних конструкцій були інтенсивність дроблення гірської маси і якість опрацювання підшви уступу. Якість дроблення оцінювали гранулометричним складом і діаметром середнього шматка зруйнованої породи (за допомогою фотопланіметричного методу), опрацювання підшви уступу визначали маркшейдерською зйомкою уступу після вибуху.

Конструкція заряду приведена на рис. 1. Технологія заряджання свердловин на дослідній ділянці була такою: спочатку на дно свердловини на мотузці спускали КУВ (рис. 1, поз. 1), після чого за допомогою дзеркала і відбитого світла контролювалося його положення, потім формували заряд і бойовики (рис. 1, поз. 2, 4), а згори засипали забійку (рис. 1, поз. 3).

Після прибирання гірської маси на цьому блоці маркшейдерська група виконувала геодезичну зйомку. Аналіз отриманих результатів показав, що використання конструкції заряду, в донній частині якого розташований КУХ, призводить до заниження підшви уступу на 80–85 см (порівняно з контрольною ділянкою, на якій використовували звичайні суцільні заряди).

Результати проведених експериментів показали (табл. 1), що розташування в донній частині свердловини КУХ здійснює вплив на інтенсивність вибухового руйнування гірських порід:

діаметр середнього шматка при використанні цих зарядів знижується на 8,2 %; вихід середніх фракцій збільшується в 1,2 рази, а вихід великих фракцій (понад 400 мм) знижується в 1,2 рази.

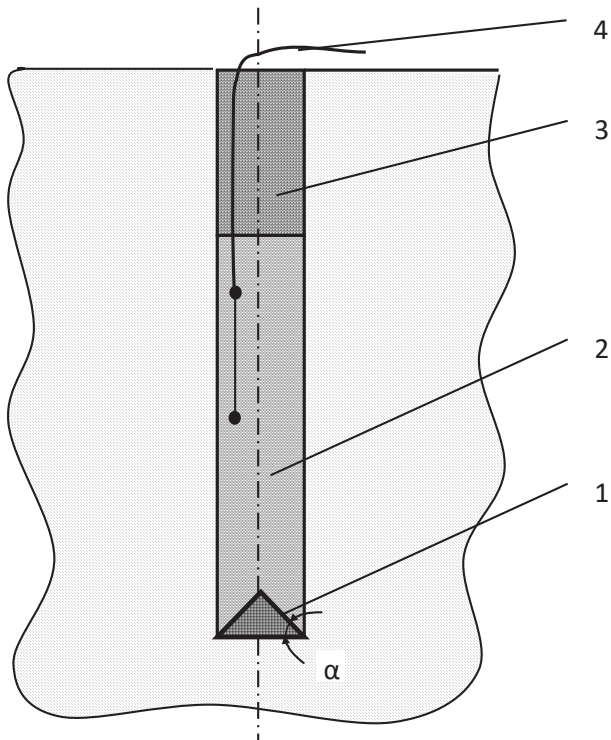


Рисунок 1 – Конструкція свердловинного заряду

Проведені теоретичні і лабораторні дослідження показали, що змінюючи кут біля основи конічного КУХ, можна регулювати дроблення гірської породи. Для перевірки отриманих результатів були проведені дослідні вибухи з використанням зарядів з КУХ в донній частині, величину кута α змінювали в межах від 20° до 45° (табл. 2).

Результати проведених експериментів показали, що при використанні зарядів з КУХ ($\alpha = 20^\circ$), розташованих в донній частині свердловини, діаметр середнього шматка трохи зменшився (на 3,6 %).

При використанні зарядів з КУХ ($\alpha = 30^\circ$), за рахунок того, що забійка довше залишалася в заряді, зменшення діаметру середнього шматка склало майже 13 % в порівнянні з контрольною ділянкою (в порівнянні з ділянкою, на якій використали заряди з КУХ ($\alpha = 45^\circ$) це зменшення склало 5,8 %), вихід великих (більше 400 мм) фракцій знизився в 1,4 рази, а вихід середніх фракцій збільшився в 1,3 рази.

Виконані експерименти показали, що використання зарядів з КУХ в донній частині дозволяє підвищити міру руйнування гірських порід вибухом. Отже, можна добитися колишньої якості вибухового руйнування, збільшивши при цьому сітку свердловин. При проведенні даних експериментів відстань між свердловинами змінювали з кроком 0,25 м. Аналіз отриманих результатів показав (табл. 3), що при використанні зарядів з КУХ в донній частині можливе розширення сітки свердловин з $5,5 \times 6,5$ м до $5,5 \times 6,75$ м.

ВИСНОВКИ. У результаті проведених досліджень за оцінкою ефективності використання розроблених результатів в промислових умовах встановлено:

1. Використання свердловинних зарядів з КУХ в донній частині за рахунок посилення динамічної дії на нижні шари висаджуваного в повітря масиву дозволяє без погіршення якості опрацювання підосви уступу понизити величину перебура в 1,7 рази.

2. За рахунок зниження динамічної дії відбитої ударної хвилі на матеріал забійки при вико-

Таблиця 1 – Вплив розташування КУХ в донній частині заряду на інтенсивність вибухового руйнування гірських порід

Дільниця	Відсотковий вміст фракцій (мм)						Діаметр середнього шматка, мм
	0–100	100–200	200–400	400–600	600–800	>800	
Контрольна	7,3	27,9	31,8	20,4	11,1	1,4	333,2
Дослідна	7,9	32,1	32,9	17,3	9,8	–	305,9

Таблиця 2 – Вплив параметрів КУХ в донній частині заряду на інтенсивність вибухового руйнування гірських порід в умовах ПрАТ «Полтавський ГЗК»

Дільниця	Відсотковий вміст фракцій (мм)						Діаметр середнього шматка, мм
	0–100	100–200	200–400	400–600	600–800	>800	
Контрольна	8,1	26,9	29,2	22,2	12,1	1,5	341,3
Дослідна ($\alpha = 20^\circ$)	8,1	27,4	31,3	21,9	10,5	0,8	328,9
Дослідна ($\alpha = 30^\circ$)	7,8	33,4	33,8	16,5	8,5	–	297,4
Дослідна ($\alpha = 45^\circ$)	8,0	30,8	31,4	19,2	10,1	0,5	315,6

Таблиця 3 – Вплив параметрів сітки свердловин на зміну гранулометричного складу зруйнованої гірської маси

Сітка свердловин, м	Відсотковий вміст фракцій, мм						Діаметр середнього шматка, мм
	0–100	100–200	200–400	400–600	600–800	>800	
5,5 × 6,5 (контрольна)	6,6	27,9	30,3	22,8	11,2	1,2	339,3
5,75 × 6,75 (дослідна)	6,5	28,5	31,2	20,9	11,9	1	336,4
6,0 × 6,75 (дослідна)	6,3	24,9	31,1	23,8	12,0	1,9	353,9

ристанні свердловинних зарядів з КУХ в донній частині збільшується її час знаходження в заряді і тривалість дії ПД на масив. Це призводить до зниження діаметру середнього шматка на 8–12 % (залежно від міцності породи) і зменшення виходу негабарита в 1,7 разу.

3. Уперше в промислових умовах досліджено вплив величини кута α біля основи конічного КУХ на характер дроблення гірської породи.

Встановлено, що при $\alpha = 30^\circ$, за рахунок того, що забійка довше залишається в заряді, досягається найкраще дроблення (зменшення діаметру середнього шматка склало майже 13 % у порівнянні з контрольною ділянкою, де використовували звичайні заряди.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комир В. М., Кузнецов В. М., Воробьев В. В. Повышение эффективности взрыва в твердой среде. М. : Недра, 1988. 232 с.
2. Клишин И. В. Влияние величины перебура скважин на качество ведения взрывных работ при разработке каменных карьеров по производству щебня. ГИАБ. 2012. № 5. С. 272–274.

3. Полтаращенко Д. С. Определение параметров буровзрывных работ, обеспечивающих качественное разрушение уступов увеличенной высоты. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. Вип. 2. 2008 (49). Ч. 1. С. 106–108.

4. Jhanwar J., Jethwa J., Reddy A. Influence of air-deck blasting on fragmentation in jointed rocks in an open-pit manganese mine. *European Scientific Journal December. 2013. SPECIAL edition vol. 3. P. 200–207.*

5. Воробьев В. В., Помазан М. В. Усиление квазистатического действия продуктов детонации в донной части шпура. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. 2008. Вип. 5/2008 (52). Ч. 2. С. 154–157.

6. Vorobyov V., Pomazan M., Shlyk S., Vorobyova L. Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. ISSN 1729-3774. 2017. 3/1 (87). 53–62 pp.

7. Войтенко Ю. І., Кравець В. Г., Ган А. Л., Корбійчук В. В. Ефективність зарядів різних конструкцій при деформуванні та руйнуванні металевих перепон. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. Серія: Технічні науки. 2018. № 1 (81). С. 223–231.

STRENGTHENING THE DYNAMIC ADVANTAGE OF THE LOWER BALLS IN THE ARRAY DURING THE VIBUCHA OF THE SUPERBOARD CHARGE

Larisa Vorobyova

Ph.D.,

Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, larivorobiova@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5333-6091

Viktor Vorobyov

Doctor of Technical Sciences,

Professor at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, vvv.imit@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-3446-4714

Irina Pieieva

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, ipeeva@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-4916-7381

Andrii Chernytskyi

PhD Student at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, andrii.chernytskyi@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-8414-5132

The work is dedicated to the industrial reversal of the efficiency of the broken new design of the sverdllovino charge of vibukhovo speech in case of yielding to the waters of the mountain rocks on the ore mines. The peculiarity of the process of vibrocoagulation of the hard cores during the molding of the dynamically shifted uneven tension of the lower balls in the block was studied, as if it was established by an inert insert in the bottom part of the core. The design of the sverdlloviny charge has been broken up for changing the nature of the interaction between the detonation fins and the bottom of the sverdlloviny, allowing the energy of the vibe to be generated in the zone of the overburden. Conducted research made it possible to install the parameters of the concentrator of shock waves and physical and mechanical powers of the mountain breed on the nature of the rubble (granulometric warehouse, diameter of the middle piece, and oversized).

With the help of a decrease in the dynamic flow of the shock wind on the material of the padding with a concentrator of the shock wind in the bottom part, the hour of the change in the charge and the durability of the blow of the PD on the mass, For the first time, the impact of the value of the end concentrator of percussive quills on the nature of the crushing of the mountain rock was assessed. It has been established that at $\alpha = 30^\circ$, for the size of the fact that the padding was more squandered in the charge, the finest crushing is reached (the change in the diameter of the middle piece folded more than 13 % compared to the control plot, devoicing the secondary charge).

Conducted industrial investigations showed that for the adjustment of a new design of a drilled charge it is possible to change the amount of overburden by 10–12 % and reduce the diameter of the middle piece of a drilled fat mass by 1.7 times.

Key words: vibukhova speech, mountain breed, concentrator of percussive winds, drill charge, detonation products, efficiency.

REFERENCES

1. Komir, V. M., Kuznetsov, V. M., Vorobyov, V. V. Povyshenie effektivnosti vzryva v tverdoi srede. M. : Nedra, 1988. 232 s. [in Russian]
2. Klishin, I. V. Vliyanie velichiny perebura skvazhin na kachestvo vedeniya vzryvnykh rabot pri razrabotke kamennykh kar'erov po proizvodstvu shchebnya. *GIAB*. 2012. № 5. S. 272–274. [in Russian]
3. Poltarashchenko, D. S. Opredelenie parametrov burovzryvnykh rabot, obespechivayushchikh kachestvennoe razrushenie ustupov uvelichennoi vysoty. *Visnik Kremenchuts'kogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu imeni Mikhaïlo Ostrohradskyi*. Vypusk 2. 2008 (49). Chastina 1. S. 106–108. [in Russian]
4. Jhanwar, J., Jethwa, J., Reddy, A. Influence of air-deck blasting on fragmentation in jointed rocks in an open-pit manganese mine. *European Scientific Journal December*. 2013. SPECIAL edition vol. 3. P. 200–207.
5. Vorobyov, V. V., Pomazan, M. V. Usilenie kvazistaticheskogo deystviya produktov detonatsii v donnoi chasti shpura. *Visnik Kremenchuts'kogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu imeni Mikhaïlo Ostrograds'kogo*. 2008. Vip. 5. 2008 (52) chast 2. S. 154–157. [in Russian]
6. Vorobyov, V., Pomazan, M., Shlyk, S., Vorobyova, L. Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. ISSN 1729-3774. 2017. 3/1 (87). 53–62 pp.
7. Voitenko, Yu. I., Kravets', V. G., Gan, A. L., Korbiichuk, V. V. Efektivnist' zaryadiv riznykh konstrukttsii pri deformuvanni ta ruinuvanni metalevikh perepon. *Visnik Zhitomir's'kogo derzhavnogo tekhnologichnogo universitetu*. Seriya Tekhnichni nauki. Zhitomir. 2018. № 1 (81). S. 223–231. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 10.03.2022

ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ВИБУХОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ МАСИВУ, ЩО РУЙНУЄТЬСЯ

Віталій Долударєв

кандидат технічних наук, доцент

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, dvn69k@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5619-5017

Вячеслав Єлістратов

кандидат технічних наук, доцент

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, yelis@rambler.ru;

ORCID: 0000-0001-7931-7761

Ірина Солошич

доктор педагогічних наук, професор

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, soloishych@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-8842-5120

Яна Долударева

кандидат технічних наук, доцент

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, вул. Перемоги, 17/6, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, doludareva@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-4089-2010

Наведено аналіз методів управління вибуховим навантаженням масиву, що руйнується. За рахунок такого управління можливо впливати на ефективність вибухового дроблення твердих середовищ та на вихід переподріблених фракцій при масових вибухах. Порівняння різних складів сумішевих зарядів вибухових речовин показало, що заряд з газоутворюючим енергоактивним компонентом у вибуховій речовині, змінюючи термодинамічні параметри продуктів детонації та умови їх взаємодії з середовищем, що руйнується, дасть змогу зменшити переподрібнення при вибуховій відбійці нерудних гірських порід, що має підвищити ефективність роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин. Встановлено, що часткова заміна бризантної вибухівки в зарядах вибухових речовин на газоутворюючу добавку знижує пік тиску в зарядній порожнині, а також швидкість зростання тиску продуктів детонації, що призводить до зменшення переподрібнення твердого середовища в ближній до заряду зоні. При подальшому горінні газоутворюючий компонент виділяє енергію, яка підсилює навантаження масиву в середній та дальній зонах, що призводить до більш рівномірного її дроблення.

Зменшення виходу переподріблених та негабаритних фракцій значно підвищує ефективність роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин. Це не стосується гірничодобувних підприємств з видобутку рудних корисних копалин, тому що в цьому випадку переподріблення гірської маси є бажаним фактором, який спрощує переробку сировини на подальших етапах технологічного процесу.

Зменшення бризантності сумішевих зарядів за рахунок газоутворюючих компонентів значно зменшує сейсмічний вплив масового вибуху на навколишнє середовище. Нажаль вказаним аспектам взаємодії складових частин сумішевих зарядів між собою та з навколишнім середовищем до теперішнього часу приділялося недостатньо уваги.

Ключові слова: видобування, переподрібнення, компоненти вибухівки.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Вибухове дроблення скельних корисних копалин є одним з основних способів їх видобутку на відкритих розробках. Для підвищення ефективності роботи гірничодобувних підприємств необхідно вико-

ристовувати раціональні методи ведення вибухових робіт, які покращують характеристики гранулометричного складу зруйнованої гірської маси.

Переподрібнення породи вибухом є позитивним фактором при видобутку залізрудних

копалин, тому що спрощує роботу обладнання на наступних етапах технологічного процесу. Разом з тим, при видобутку будівельної сировини та блочного каміння переподрібнення є небажаним, оскільки веде до втрат корисних копалин.

Зменшення виходу переподрібнених фракцій при вибухах в твердих середовищах можна домогтися створенням в заряді вибухових речовин повітряних проміжків, формуванням навколо заряду оболонки з інертних речовин (повітря, пісок, гранвідсів, тощо), що дозволяє знизити пік тиску в зарядній порожнині на початковій стадії вибуху та зменшити бризантну дію заряду на середовище, що руйнується. Але треба враховувати, що при цьому деяка частина енергії вибухової речовини витрачається на нагрів інертної добавки.

Уникнути вказаного недоліку можна додаючи в заряд вибухових речовин недетонуючий газоутворюючий енергоактивний компонент з відходів твердих ракетних палив, недетонуючого порошу й ін. Використовуючи частину енергії на початковій стадії вибуху для свого займання, знижуючи максимальний тиск продуктів детонації, газоутворююча добавка в процесі горіння на наступних стадіях вибуху виділяє енергію, яка сприяє посиленню дроблення середовища. Це повинно призвести до одночасного зменшення виходу як переподрібнених, так і негабаритних фракцій, що доцільно для підвищення ефективності роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин. Тому розробка способів управління переподрібненням гірських порід при використанні зарядів з газоутворюючими добавками є актуальним науково-технічним завданням для гірничодобувної промисловості.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Дію вибуху умовно прийнято розділяти на дві стадії: початкову ударну дію, що характеризується різким стрибком тиску в зарядній порожнині, та подальше, більш тривале, квазістатичне навантаження газоподібними продуктами детонації, що розширюються.

Розглядаючи загальний енергетичний баланс даного процесу, необхідно відзначити, що найбільші дисипативні втрати енергії спостерігаються на початковій стадії розвитку порожнини, коли тиск в ній максимальний [1]. Зниження піку тиску на початку розширення порожнини дає деяке підвищення ефективності вибуху. Подальше посилення квазістатичного тиску створює позитивний додатковий ефект, що доведено дослідженнями багатьох авторів [2].

На даний час розроблені способи управління квазістатичною дією продуктів детонації. Одним з давно відомих методів є створення в заряді вибухових речовин повітряних проміжків [1; 3], які дозволяють знизити пік тиску в зарядній порожнині та збільшити тривалість впливу на її стінки. Недоліки цього способу: нетехнологічність формування в заряді повітряних проміжків (особливо в обводнених свердловинах) і можливість загасання детонації під час вибуху.

Іншим способом досягнення поставленої мети є використання комбінованих зарядів з бризантних і металевих вибухових речовин. Таким шляхом домагаються зниження їх бризантності при деякому підвищенні роботоспроможності. Управління квазістатичною дією продуктів детонації можливо також за допомогою введення в заряд вибухових речовин добавки негорючого газоутворюючого компоненту (наприклад, вуглекислого амонію).

Одним з найбільш ефективних і мало вивчених способів управління поршневою дією продуктів детонації є застосування сумішевих зарядів вибухових речовин, до складу яких входять горючі газоутворюючі добавки (недетонуючі порохи, відходи твердих ракетних палив і т. п.) [4].

Сучасний асортимент вибухових речовин, які застосовуються при розробці корисних копалин, містить наступні основні групи вибухових речовин:

- тротилмісткі гранульовані склади (тротил і його суміші з аміачною селітрою або порошком алюмінію) – гранулотол, алюмотол і грамоніти;
- суміші з гранульованої аміачної селітри з невибуховими горючими добавками – ігданіт (аміачна селітра та дизельне паливо), або – AN-FO (нітрат амонію та паливне масло в англійській транскрипції) [5];
- водомісткі сумішеві вибухові речовини. В них використовується високо концентрований водний розчин окислювача (аміачна, кальцієва або натрієва селітра) в якості основної фази водомісткого складу, в який дисперговані як твердий окислювач, так і сенсibilізуючі горючі добавки (тверді вибухові речовини, наприклад: тротил або невибухові речовини у виді вуглеводнів, вуглецевих і целюлозних матеріалів, горючі висококалорійні метали, наприклад, алюміній, кремній). Структурують ці вибухові речовини шляхом введення загущуючих добавок і поперечних зшивок. Залежно від приготування та складу водомісткі вибухові речовини діляться на суспензійні, гелевидні та емульсійні (прямі – тип «масло у воді» й зворотні – тип «вода в маслі») [6–10].

Тротилгранульовані склади характеризуються високими детонаційними параметрами та теплою вибуху. Крім того, багато з них ефективні в обводнених гірських масивах. При цьому не тільки зберігається детонаційна здатність вибухових речовин, але з-за підвищення щільності суміші за рахунок заповнення водою міжгранульного простору зростає об'ємна концентрація енергії, збільшується швидкість детонації, тиск продуктів вибуху, що призводить до збільшення інтенсивності дроблення гірських порід.

В останні роки все ширше застосовують найпростіші суміші з гранульованої аміачної селітри з різними горючими добавками [11]. Частка споживання їх досягає 50–60 % загальної кількості застосовуваних промислових вибухових речовин, а в США 85–95 % [5]. Детонаційні характеристики найпростіших гранульованих сумішей нижче, ніж у тротилу. Однак в певних умовах вони більш ефективні. Це відноситься до дроблення порід малої та середньої міцності. При цьому знижується вихід переподрібнених фракцій і підвищується кондиційних, тобто дроблення стає більш рівномірним. До недоліків відноситься водонестійкість. При вмісті води більше 5 % втрачається детонаційна здатність цих сумішей. Крім того, суміші АС-ДП мають недостатню фізичну стабільність, детонаційний тиск недостатній для руйнування міцних і особливо міцних порід.

Роботи з удосконалення аміачно-селітряних гранульованих вибухових сумішей проводилися й проводяться в Україні та за кордоном. Так збільшення діаметра вибухових свердловин дозволило підвищити детонаційну здатність сумішей АС-ДП за рахунок більш повного хімічного перетворення крупнодисперсних компонентів і, як наслідок, – підвищення коефіцієнта корисної дії вибуху. Ще одним поштовхом до широкого застосування сумішей АС-ДП в гірничодобувній промисловості та будівництві є розробка технології виготовлення пористої аміачної селітри, яка надійно утримує у собі рідкі нафтопродукти та дозволяє створювати суміші високої якості й стабільності [6].

Одним із способів підвищення стабільності сумішей АС-ДП, при цьому підвищення ефективності вибухової відбійки, є введення до складу вибухових речовин добавок з великою питомою поверхнею. Застосовується аморфний кремнезем, що отримується шляхом кислотної переробки нефеліністкої сировини. Питома поверхня цієї добавки 100 м²/г. Зміст цієї добавки в кількості, що дорівнює 1 %, підвищує в'язкість

дизельного палива та повністю запобігає його стіканню. Склад грануліта АК: гранульована аміачна селітра (94,0±2,0 %), рідкі нафтопродукти (5,0±1,0 %) і аморфний кремнезем (1,0±0,1 %). Ця вибухова речовина аналогічна за дією грамоніту 79/21, але значно дешевша.

За необхідності навантаження масиву більш тривалий час в щадному режимі, щоб зберегти міцність сировини та уникнути переподрібнення, але в той же час отримати необхідне дроблення, застосовуються заряди наднизкощільних сумішей аміачної селітри та пінополістиролу. Дія цих зарядів характеризується одночасним зниженням до гранично низьких значень об'ємної концентрації енергії вибуху, швидкості детонації, тиску, кінетичної енергії продуктів детонації, концентрації газів на одиницю об'єму заряду, що забезпечує квазістатичне навантаження масиву й високий щадний ефект. У той же час детонація цих вибухових речовин носить досить виражений пульсуючий характер і супроводжується в зоні хімічної реакції створенням високотемпературних плазмових струменів, що сприяє більш тривалій підтримці процесу вибухового перетворення; форма вибухового імпульсу стає більш пологою та тривалою, і, отже, підвищується ефективність вибухового руйнування.

Роботи зі створення найпростіших аміачно-селітряних вибухових речовин – ігданітів проводилися Г. П. Демидюком [5]. Застосування ігданіту на гранітних кар'єрах Кременчука дозволило зменшити кількість переподрібнених і негабаритних фракцій і на 20–30 % підвищити міцність шматків відбитої гірничої маси на стиск, а також знизити вартість вибухових робіт порівняно з застосуванням за таких же умов грамоніту.

До складу компонентів ігданіту для загушення дизельного палива застосовуються різні поверхнево-активні речовини або механічні невибухові добавки (мастила, відходи виробництва хімічної, металургійної та будівельної промисловості [6]).

З метою підвищення теплоти вибуху до складу промислових вибухових речовин на основі аміачної селітри вводяться високоенергетичні горючі добавки, в якості яких застосовувався дрібнодисперсний алюміній – АС-4, АС-6, АС-8. Однак, як відомо, дорогий і небезпечний алюміній у складі промислових вибухових речовин замінювали економічно доступними горючими компонентами – феросиліцієм, силікокальцієм, що забезпечують об'ємну концентрацію енергії в нових складах промислових вибухових речовин на рівні не нижче алюмініїстких вибухових речовин,

але є більш безпечними. Вони мають гарну сипучість, при перемішуванні відсутнє запилювання, не злежуються та не розсіюються в процесі зберігання [13].

До зміни детонаційних характеристик промислових вибухових речовин, а, отже, й до зміни параметрів вибухового імпульсу, а значить, і дроблення середовища, призводить застосування в якості добавок залізородного концентрату, доломітизованого борошна й т. п. [13].

Уведення до складу вибухівки подрібненого вугілля, гуми й т. п. призводить до підвищення об'ємної концентрації енергії та до стабілізації вибухових властивостей найпростіших вибухових речовин, зменшуючи при цьому стікання дизельного палива, забезпечуючи стовідсоткову стабільність складів, що в свою чергу підвищує ефективність вибухових робіт [13].

В Україні розроблений і запатентований найпростіший склад – грануліт НМ, що готується шляхом змішування гранульованої непористої аміачної селітри (82 %) і промпродукту – НМ або ПП-НМ (18 %). Промпродукт складається з натиру металу (вторинна прокатна окалина, що є відходом трубного виробництва), подрібненого лушпиння соняшника та відпрацьованих індустриальних мастил [6]. Грануліт НМ призначений для підривання необводнених порід середньої міцності та міцних у будь-яких кліматичних зонах. Так як при його виготовленні використовуються відходи виробництва, він має низьку вартість і сприяє оздоровленню екологічного середовища [14].

До третьої основної групи промислових вибухових речовин відносяться водомісткі сумішеві вибухові речовини. Вода, як наповнювач промислових вибухових речовин (внаслідок розчинення в ній аміачної селітри та заповнення між частинками вибухової речовини її насиченого розчину), сприяє при вмісті води 5–15 % підвищенню середньої щільності водомістких вибухових речовин до 1,5–1,6 г/см³ з початкової (насипної) щільності 0,8–0,9 г/см³. Крім того, вода знижує чутливість складу, надає йому пластичність або плинність, з'являється вологість механізованого перекачування низьков'язких водомістких вибухових речовин по трубопроводах і шлангах за допомогою насосів.

Недолік води, як наповнювача, – її відносна хімічна інертність. Значна частина тепла, що виділяється під час вибуху, витрачається на нагрівання та випаровування води, а зворотної конденсації не відбувається, тому що температура

продуктів вибуху вище 100 °С. Частина втрат відшкодовується збільшенням газів за рахунок водяної пари. Все ж робота вибуху водомістких амонітів з нульовим кисневим балансом на одиницю їх маси нижче, ніж тих же вибухових речовин в сухому стані.

В енергетичному відношенні сприятливо введення до складу вибухових речовин алюмінію, проте при цьому знижується детонаційна здатність суміші. Сенсibilізувати склади подібного типу можна газовими бульбашками та застосуванням високодисперсної алюмінієвої пудри. Бульбашки повітря до маси вибухової речовини можна ввести механічним шляхом за інтенсивного перемішування (аерації) водного розчину аміачної селітри з алюмінієвою пудрою. Інший спосіб – це введення газоутворюючої добавки – речовини, здатної взаємодіяти з будь-яким з компонентів вибухової речовини з утворенням газоподібних продуктів вибуху. При адіабатичному стисненні газових бульбашок у детонаційній хвилі, вони сильно розігріваються й стають «гарячими точками», що підтримують поширення детонації по зарядам.

Найбільш поширеним сенсibilізатором в складі водомістких вибухових речовин є тротил, а також бездимний порох, тверде ракетне паливо й ін.

Гелеутворюючими агентами є синтетичні або природні полімери, солі карбоксиметилцелюлоза, поліакриламід та ін., що набухають у воді. Вони сприяють запобіганню або уповільненню вимивання селітри та інших водорозчинних солей з вибухових речовин при заряджанні обводнених свердловин, надають вибуховим речовинам пластичність.

До складу водомістких вибухових речовин, крім аміачної селітри, як окислювач можуть входити нітрати лужних і лужноземельних металів, які підвищують їх щільність.

Концентрація енергії в зарядах водомістких вибухових речовин в 1,8–2,0 рази вище, ніж патронованих вибухових речовин і вони можуть застосовуватися для підривання вельми міцних порід. Основні недоліки: складний рецептурний склад і технологія виготовлення, менша фізична стабільність більша їх вартість порівняно з гранульованими вибуховими речовинами (в 5–3 разів вище, ніж АС-ДП), низька чутливість до ініціювання імпульсу.

Різновидом водомістких сумішей є вибухові емульсії, які широко застосовуються в США, Франції, Великобританії, Китаї та інших країнах.

Емульсії значно дешевше традиційних водомістких сумішей, мають високу детонаційну та енергетичну здатності, підвищену безпеку виробництва та застосування, водостійкість. Саме завдяки широкому використанню емульсійних складів в останнє десятиліття за кордоном досягли значних техніко-економічних показників вибухових робіт. У Росії подібного класу вибухові речовини – пореміти.

Досвід застосування емульсійних поремітів на кар'єрах Лебединського та Стойленського гірничо-збагачувальних комбінатів показав, що звичайний пореміт придатний для вибухового дроблення тріщинуватих порід з коефіцієнтом міцності за М. М. Протодюжоновим $f = 12$, а з добавками 4 і 8 % алюмінієвого порошку – для порід будь-якої міцності. При дослідних вибухах з великою питомою витратою пореміта розмір середнього шматка підірваної гірничої маси виявився в 1,5–2,0 рази більше, ніж при підірванні штатними гранульованими вибуховими речовинами. Це, ймовірно, пояснюється недостатнім ступенем перемішування компонентів, в результаті чого детонувала тільки частина газоутворюючої добавки заряду.

Останнім часом у виробництві та застосуванні емульсійних вибухових речовин намітилися позитивні тенденції [5], що пов'язано з розробкою нового покоління емульсійних вибухових речовин – безтарних поремітів, що виготовляються поблизу або безпосередньо на гірничих підприємствах. При цьому освоєно виробництво вітчизняних емульгаторів ПТ і СМТ, процес отримання яких можна прив'язати до установки з виготовлення поремітів.

Розробка принципово нової структури промислових вибухових речовин у виді зворотної емульсії «вода в мастилі» вирішила проблему виключення розчинення аміачно-селітерних промислових вибухових речовин в обводнених свердловинах будь якої проточності, де застосовується дорогий гранулол. Ефект досягається за рахунок високої щільності заряджання поремітів 1,25–1,3 г/см³, а вартість їх в 2 рази нижче гранулол. Сировина для отримання емульсійних вибухових речовин порівняно дешевша й доступна, сенсibiлізація їх здійснюється газовими бульбашками при заряджанні в свердловину.

Численні дослідження вітчизняних і зарубіжних авторів спрямовані на створення вибухових речовин і зарядів вибухових речовин, що забезпечують регульоване виділення енергії залежно від необхідних завдань по руйнуванню гірських

порід з різними властивостями та будовою [12]. Регулювання виділеної енергії вибуху в навколишнє середовище здійснюється введенням до складу вибухових речовин різних добавок, що змінюють їх щільність від 0,6 до 1,4 г/см³, що призводить до зміни швидкості детонації. Для руйнування міцних порід використовуються суспензійні та емульсійні вибухові речовини, що виготовляються на місцях застосування, до складу яких вводяться з рівномірним перемішуванням сенсibiлізатори, які підвищують швидкість детонації до 5500 м/с, щільністю до 1,4 кг/дм³ і високою концентрацією енергії.

Для регулювання чутливості та швидкості детонації до складу емульсійних вибухових речовин вводять суміш скляних і пластмасових мікросфер. Щільність вибухової речовини при цьому може змінюватися від 0,6 до 1,25 кг/дм³. Діаметр скляних сфер 30–150 мкм, пластмасових 200–1200 мкм. Найбільшого ефекту досягли при розмірах скляних сфер діаметром 40–80 мкм, пластмасових 400–1000 мкм, швидкість детонації при цьому змінювалася в діапазоні 6070–6405 м/с. Порожнисті мікросфери рекомендується додавати в емульсійні вибухові речовини та в суміші емульсійних і найпростіших вибухових речовин типу АС-ДП. Використання водомістких і емульсійних вибухових речовин при підірванні міцних порід досить ефективне, а застосування утилізованих компонентів в якості сенсibiлізаторів істотно знижує витрати на підготовку вибуху.

Для забезпечення регулювання виділення енергії вибуховими речовинами намагаються використовувати в якості добавок відходи виробництва, що значно здешевлює ведення вибухових робіт, підвищує їх ефективність і приводить до позитивних екологічних результатів. Прикладом є створення емульсійної вибухової речовини «Україніт», в яку введена в якості аеруючого агенту легка кварцова фракція з відходів теплових електростанцій.

Новим напрямком розвитку вибухових речовин є введення до відомих вибухівок найпростішого складу нових продуктів, отриманих у результаті утилізації конверсійних боєприпасів. Це дозволяє отримати більш потужні вибухові речовини при одночасному зниженні їх вартості. Компонентами нових вибухових речовин можуть бути зняті з озброєння порохи, якими споряджені міни, снаряди, торпеди, авіабомби, тверді та рідкі ракетні палива й т. д. [15; 16].

Використання конверсійних вибухових речовин дозволяє забезпечити поставку гірничим

підприємствам вибухових матеріалів вартістю в 1,5–2,5 рази нижче, ніж вартість штатних промислових вибухових матеріалів.

Проведені термодинамічні розрахунки емульсійних вибухових систем, що містять енергоємні добавки у виді порохів різних марок, показали, що в системах, одним з компонентів яких є порох, швидкість детонації становить вище 7000 м/с і максимальний тиск детонації складає приблизно 18 ГПа. Застосування конверсійного компоненту динітроаміда амонію ще ефективніше, бризантність підвищується на 60 % [15].

При використанні конверсійних компонентів в промислових вибухових речовинах до кінця невирішеними є завдання їх подрібнення, визначення кількості в складі суміші, зниження підвищеної чутливості до механічних і теплових впливів, оптимізація балансу складу за змістом пального та окислювача (негативний кисневий баланс), що призводить до утворення при вибуху токсичних продуктів вибухового перетворення (окис вуглецю, окис азоту та ін.) і не забезпечує максимальну роботоспроможність вибухових речовин.

Частково ці завдання вирішуються введенням до складу АС-ДП піроксилінового або баліститного порошу з розміром частинок 0,01–2,95 мм або їх суміші та води [16]. Стабілізація вибухових речовин досягається застосуванням подрібненого піроксилінового або баліститного порошу з частинками певних розмірів, які забезпечують високу утримуючу здатність по відношенню до рідких нафтопродуктів (до 40–45 %). У той же час теплота вибуху збільшується на 15 %, а критичний діаметр детонації знижується зі 120–130 мм до 80–90 мм. Введені рідкі нафтопродукти в якості пального одночасно забезпечують флегматизацію порошу та дозволяють зберегти чутливість до удару на рівні ігданітів. Щільність вибухових речовин збільшується на 15–20 %, а швидкість детонації – на 20 %.

ВИСНОВКИ. Заряд з газоутворюючим енергоефективним компонентом у вибуховій речовині, змінюючи термодинамічні параметри продуктів детонації та умови їх взаємодії з середовищем, що руйнується, дасть змогу зменшити переподрібнення при вибуховій відбійці нерудних гірських порід, що підвищить ефективність роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин.

Встановлено, що часткова заміна бризантної вибухівки в зарядах вибухових речовин на газоутворюючу добавку знижує пік тиску в зарядній

порожнині, а також швидкість зростання тиску продуктів детонації, що призводить до зменшення переподрібнення твердого середовища в ближній до заряду зоні гірської маси. При подальшому горінні газоутворюючий компонент виділяє енергію, яка підсилює дроблення масиву в середній та дальній зонах гірської маси, що призводить до більш рівномірного її дроблення.

Зменшення бризантності сумішевих зарядів за рахунок газоутворюючих компонентів значно зменшує сейсмічний вплив масового вибуху на навколишнє середовище.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ромашов А. Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. М. : Недра, 1981. 243 с.
2. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде / Комир В. М., Кузнецов В. М., Воробьев В. В. и др. М. : Недра, 1988. 209 с.
3. Жунусов К., Жунусов А. К. Влияние продолжительности импульсных нагрузок взрыва заряда ВВ на качество разрушения взрываемой среды / Горный журнал Казахстана. 2010. № 3. С. 20–25.
4. Кирьяков Г. Е., Елифанов В. Б., Зиборов А. Б., Вологин М. Ф. Утилизация баллистических ракетных твердых топлив переработкой во взрывчатые материалы промышленного назначения / Горный журнал. 2006. № 5. С. 43–44.
5. Кук М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. М. : Недра, 1980. 453 с.
6. Демидюк Г. П. О механизме действия взрыва и свойствах взрывчатых веществ / Взрывное дело. 1960. № 45/2. С. 20–35.
7. Петренко В. Д., Ефремов Э. И., Кратковский И. Л. Характер разрушения полиминеральных пород при действии взрывных и ударных нагрузок / Геотехническая механика. – Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2010. № 85. С. 39–45.
8. Комир В. М., Назаренко В. Г. О роли газообразных продуктов детонации в процессе разрушения твердой среды при взрыве / Взрывное дело. 1978. № 80/37. С. 77–80.
9. Петренко В. Д., Донченко П. А., Коновал С. В. Исследование направленного раскола горных пород взрывом / Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Кременчук : КрНУ, 2011 (7). № 1. С. 51–55.
10. Кратковский И. Л. О надежности способов инициирования взрывчатых веществ простейшего состава при отбойке горных пород на карьерах / Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Кременчук : КДПУ, 2009. № 2 (4). С. 29–35.
11. Викторов С. Д., Кутузов Б. Н., Закалинский В. М. Взрывчатые вещества без взрывчатых компонентов – основа прогресса в горном деле / Горный журнал. 2008. № 12. С. 4–50.

12. Кратковский И. Л. Прогнозная оценка месторождений интрузивных пород, перспективных для добычи блочного камня / *Науковий вісник Національного гірничого університету*. Дніпропетровськ : НГУ, 2010. № 5. С. 18–23.

13. Слащев И. Н., Макеев С. Ю., Слащева Е. А. Методология оценки комплекса параметров состояния массива пород для обеспечения требований безопасности систем поддержания горных выработок / *Геотехнічна механіка*. – Дніпропетровськ : ІГТМ НАНУ, 2018. № 143. С. 127–142.

14. Шматовский Л. Д., Тынына С. В., Анянзева О. И. Влияние естественных напряжений пород

забоя выработки на силовые параметры процесса их разрушения / *Геотехнічна механіка*. – Дніпропетровськ : ІГТМ НАНУ, 2019. № 144. С. 178–189.

15. Комир В. М., Воробьев В. В., Напайло В. И. Влияние добавки газообразующего вещества в ВВ на эффективность разрушения горных пород / *Взрывное дело*. 1990. № 90/47. С. 230–233.

16. Ефремов Э. И., Петренко В. Д., Коновал В. Н. Об использовании конверсионных материалов при взрывании комбинированных зарядов на гранитных карьерах / *Проблемы производства промышленных взрывчатых веществ на современном этапе и утилизация боеприпасов*. Павлоград, 1997.

PHYSICAL ASPECTS OF EXPLOSIVE LOAD CONTROL OF A DESTROYING MASS

Vitalii Doludariiev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, dvn69k@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5619-5017

Viacheslav Yelistratov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, yelis@rambler.ru;

ORCID: 0000-0001-7931-7761

Iryna Soloshych

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, soloishych@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-8842-5120

Yana Doludarieva

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, 17/6 Peremohy str., Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600, doludareva@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-4089-2010

The analysis of methods for controlling the explosive load of a crumbling rock mass is presented. Due to such control, it is possible to influence the efficiency of explosive crushing of solid media and the yield of over-crushed fractions during mass explosions. Comparison of various compositions of mixed charges of explosives showed that a charge with a gas-forming energy-efficient component in an explosive, by changing the thermodynamic parameters of detonation products and the conditions of their interaction with a disintegrating medium, will reduce overgrinding during explosive blasting of nonmetallic rocks, which should increase the efficiency of enterprises for the extraction of nonmetallic minerals. It has been established that partial replacement of blasting explosives in explosive charges with gas-forming additives reduces the pressure peak in the charge cavity, as well as the rate of increase in the pressure of the detonation products, which leads to a decrease in the overgrinding of the solid medium in the zone of the rock mass close to the charge. With further combustion of the gas-forming component, energy is released, which enhances the crushing of the massif in the middle and distant zones of the rock mass, which leads to its more uniform crushing.

A decrease in the output of over-crushed and oversized fractions will significantly increase the efficiency of the work of enterprises for the extraction of non-metallic minerals. This does not apply to mining enterprises for the extraction of ore minerals, since in this case overgrinding of the rock mass is a desirable factor that simplifies the processing of raw materials at subsequent stages of the technological process.

It can also be noted that a decrease in the brisance of mixed charges due to gas-forming components significantly reduces the seismic effect of a massive explosion on the environment. Unfortunately, until now, insufficient attention has been paid to these aspects of the interaction of the components of mixed charges between themselves and the environment.

Key words: mining, over-grinding, explosive, gas-forming component.

REFERENCES

1. Romashov, A. N. (1981) "Features of the action of large underground explosions", *Nedra*, Moscow, 243 p.
2. Komir, V. M., Kuznetsov, V. M., Vorobiev, V. V. and Chebenko, V. N. (1988) "Increasing the effectiveness of the explosion in a solid medium", *Nedra*, Moscow, 209 p.
3. Zhunusov, K. and Zhunusov, A. K. (2010) "Influence of the duration of the pulsed charges of the explosive charge explosion on the quality of destruction of the exploded medium", *Gornyi Zhurnal*, Kazakhstan, no. 3. Pp. 20–25.
4. Kiryakov, G. E., Elifanov, V. B., Ziborov, A. B. and Vologin, M. F. (2006) "Utilization of ballistic rocket solid fuels by processing into industrial explosives", *Gornyi Zhurnal*, no. 5. Pp. 43–44.
5. Cook, M. A. (1980) "The science of industrial explosives", *Nedra*, Moscow, 453 p.
6. Demidyuk, G. P. (1960) "On the mechanism of action of the explosion and the properties of explosives", *Explosive business*, no. 45/2, pp. 20–35.
7. Petrenko, V. D., Efremov, E. I. and Kratkovsky, I. L. (2010) "The nature of the destruction of polymineral rocks under the action of explosive and shock loads", *Geotechnical mechanics*, Dnipropetrovsk, no. 85, pp. 39–45.
8. Komir, V. M. and Nazarenko, V. G. (1978) "On the role of gaseous detonation products in the process of destruction of a solid medium during an explosion", *Explosive business*, no. 80/37, pp. 77–80.
9. Petrenko, V. D., Donchenko, P. A. and Konoval, S. V. (2011) "Investigation of the directional splitting of rocks by an explosion", *KrNU*, Kremenichuk, no. 1, pp. 51–55.
10. Kratkovsky, I. L. (2009) "On the reliability of methods for initiating explosives of the simplest composition when breaking rocks in open pits", *Current resource-saving technology of mine-cutting*, Kremenichuk. no. 2 (4), pp. 29–35.
11. Viktorov, S. D., Kutuzov, B. N. and Zakalinsky, V. M. (2008) "Explosives without explosive components – the basis of progress in mining", *Mining magazine*, no. 12, pp. 4–50.
12. Kratkovsky, I. L. (2010) "Predictive assessment of deposits of intrusive rocks, promising for the extraction of block stone", *Naukoviy visnik of the National Girnichy Universitetu*, Dnipropetrovsk, no. 5, pp. 18–23.
13. Slashchev, I. N., Makeev, S. Yu. and Slashcheva, E. A. (2018) "Methodology for assessing the complex of parameters of the state of the rock mass to ensure the safety requirements of the systems for maintaining mine workings", *Geotechnical mechanics*, Dnipropetrovsk, no. 143, pp. 127–142.
14. Shmatovsky, L. D., Tynyna, S. V. and Ananyeva, O. I. (2019) "The influence of natural stresses of the bottomhole rocks on the force parameters of the process of their destruction", *Geotechnical mechanics*, Dnipropetrovsk, no. 144, pp. 178–189.
15. Komir, V. M., Vorobiev, V. V. and Napadailo, V. I. (1990) "Influence of the addition of a gas-forming substance in explosives on the efficiency of destruction of rocks", *Explosive business*, no. 90/47, pp. 230–233.
16. Efremov, E. I., Petrenko, V. D. and Konoval, V. N. (1997) "On the use of conversion materials in the blasting of combined charges in granite quarries", *Problems of the production of industrial explosives at the present stage and the disposal of ammunition*. Pavlograd.

Стаття надійшла 02.03.2022

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ РУД КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО РАЙОНУ

Віта Равінська

начальник випробувального центру

ПрАТ «Полтавський ГЗК», вул. Будівельників, 16, Горішні Плавні, Полтавська область, Україна, 39802;

ORCID: 0000-0003-3040-3938

Микола Сокур

доктор технічних наук, професор,

професор кафедри маркетингу

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600;

ORCID: 0000-0001-6779-3293

Роман Аргат

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, argat.rg@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-9247-5297

Володимир Білецький

доктор технічних наук, професор

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002, ukcdb@i.ua;

ORCID: 0000-0003-2936-9680

Україна займає одне з провідних місць у світі з видобутку і переробки залізорудної сировини. Продукція рудо-збагачувальної галузі України є однією з основних статей валютних надходжень до бюджету. У Криворізькому залізорудному басейні працює 5 гірничозбагачувальних комбінатів, які використовують технологію кульового і самоподрібнення. При переробці руд Полтавського залізорудного родовища застосовується специфічна технологія збагачення руд. Основним видом продукції збагачувальної фабрики Полтавського ГЗК є залізорудний концентрат, до складу якого входять мінерали: магнетит, мартит, сидерит, гематит, кремнезем, кальцій, силікати. Відділення № 1 і № 2 збагачувальної фабрики ПрАТ «Полтавський ГЗК» переробляють залістисті кварцити Горішньо-Плавнинського і Лавриківського родовищ, представлені магнетитовими кварцитами К-2-2 і куммінгтоніто-магнетитовими кварцитами пачки К-2-3-3. Залізорудний концентрат виробляється відповідно до розробленої інститутом Механообрормет технології з виробництва залізорудного концентрату на збагачувальній фабриці. Мета цієї статті – введення у науковий обіг матеріалів щодо сучасного стану технології збагачення різних типів залізних руд на Полтавському гірничо-збагачувальному комбінаті. Виконано аналіз технологічних схем та режимних параметрів збагачення залізних руд на Полтавському ГЗК. Зокрема, по відділенню № 1 і № 2 збагачувальної фабрики розкриті особливості технології виробництва, технологічних процесів подрібнення і класифікації, магнітної сепарації, магніто-гідралічної сепарації, магнітної класифікації і класифікації на гідроциклонах, знешламлення. Це уможливило компаративний аналіз аналогічних збагачувальних фабрик і наукове обґрунтування вибору технологічної схеми збагачення залізної руди для конкретних умов. Виконаний комплексний опис і аналіз практики збагачення залізних руд на Полтавському ГЗК дає можливість системного пошуку оптимальних рішень як технологічних схем, так і режимних параметрів окремих технологічних процесів.

Ключові слова: залізні руди, збагачення, Полтавський ГЗК, технологічні схеми, режимні параметри, збагачувальне обладнання, Кременчуцький залізорудний район.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Обумовлена необхідністю порівняльного аналізу техніки і технологій збагачення залізних руд як методу пошуку

оптимальних технічних рішень. У технічній бібліографії присутні описи багатьох практик збагачення залізних руд [1–5]. У цій статті опи-

сана і проаналізована технологія збагачення залізних руд полтавського родовища.

Україна займає одне з провідних місць у світі з видобутку і переробки залізорудної сировини. Продукція рудозбагачувальної галузі України є однією з основних статей валютних надходжень до бюджету.

У Криворізькому залізорудному басейні працює 5 гірничозбагачувальних комбінатів, які використовують технологію кульового і самоподрібнення. При переробці руд Полтавського залізорудного родовища застосовується специфічна технологія збагачення руд. Основним видом продукції збагачувальної фабрики Полтавського ГЗК є залізорудний концентрат, до складу якого входять мінерали: магнетит, мартит, сидерит, гематит, кремнезем, кальцій, силікати.

Відділення № 1 і № 2 збагачувальної фабрики ВАТ Полтавський ГЗК переробляють залізисті кварцити Горішньо-Плавнинського і Лавриківського родовищ, представлені магнетитовими кварцитами К-2-2 і куммінгтоніто-магнетитовими кварцитами пачки К-2-3-3 [6].

Залізорудний концентрат виробляється відповідно до розробленої інститутом Механобрчормет технології з виробництва залізорудного концентрату на збагачувальній фабриці.

За хімічним і гранулометричним складом концентрат повинен відповідати нормам, які вказані в таблиці 1 (СТП 279-0303-93) [7].

Вся вихідна руда повинна проходити через технологічну схему сухої магнітної сепарації та відповідати нормам указаним у таблиці 2 (СТП 279-03-02-93).

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. У статті згруповано послідовно по відділеннях 1 і 2 збагачувальної фабрики.

ВІДДІЛЕННЯ № 1

ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА

Технологічні секції № 1–5 переробляють куммінгтоніто-магнетитові кварцити пачки К-2-3-3, секції № 6–8 – магнетитові кварцити пачки К-2-2. Технологічні схеми секції збагачувальної фабрики № 1 (ЗФ-1) наведена на рис. 1, а секції збагачувальної фабрики № 2 (ЗФ-2) на рис. 2.

Подрібнення дробленої руди відбувається поступово в комплексі агрегатів: стержневий млин – двоспіральний класифікатор – кульовий млин і потім – кульові млини з гідроциклонами.

Секції № 1, 2, 4, 5, 7, 8 працюють за новою технологією без 1-ої стадії магнітної сепарації з поверненням магнетиту в голову процесу.

Доподрібнення зливу класифікатора здійснюється в кульовому млині, який працює в замкненому циклі з гідроциклонами $d = 500$ мм 1-го прийому крупності 75–85 % по класу 53 мкм.

Збагачення зливу гідроциклонів $d = 500$ мм у другій стадії магнітної сепарації з попереднім знешламлюванням. Продуктами збагачення є магнітний продукт і відвальні хвости.

Доподрібнення магнітного продукту другої стадії сепарації здійснюється у кульовому млині, який працює у замкненому циклі з гідроциклонами $d = 500$ мм II прийому, до крупності 92,5–95,5 % класу мінус 53 мкм.

Збагачення у III-ій стадії магнітної сепарації з попереднім знешламуванням зливу гідроциклонів у два прийоми.

Розділення магнітного продукту III-ої стадії магнітної сепарації за крупністю й магнітними властивостями у магнітному класифікаторі. Продуктами розділення є злив МК, який повертається у голову процесу, і піски МК з наступ-

Таблиця 1 – Основні параметри концентрату

Найменування показників	Норма	Дозволене змінне відхилення
Масова частка заліза загального, %	64,2	–0,5
Масова частка класу мінус 53 мкм, %		
під час застосування бентоніту	94,0	+1,5
при застосуванні органічних домішок	94,0	+1,0
Масова частка двоокису кремнію, %	8,75	+0,8
Щільність пульпи, %	45,0	+15

Таблиця 2 – Вимоги до вихідної руди

Найменування показників	Норма		Припустимі змінні відхилення
	від. 1	від. 2	
Масова частка заліза в руді, %	35,0	29,02	–1,0
Масова частка заліза магнетитового у руді, %	27,68	18,82	–1,0
Масова частка заліза загального у щебені, %	15,07	15,07	+1,0
Масова частка заліза магнетитового у щебені, %	6,05	6,05	+1,0

ним знешламлюванням і отриманням кінцевого концентрату.

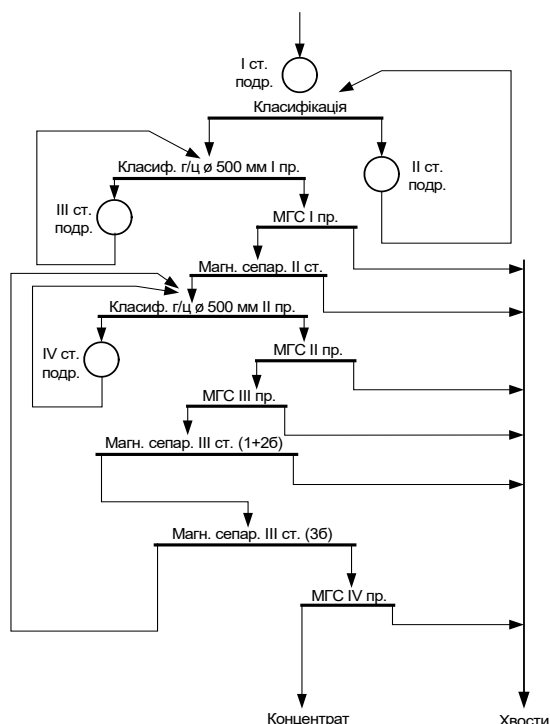


Рисунок 1 – Технологічна схема секції № 3 ЗФ-1

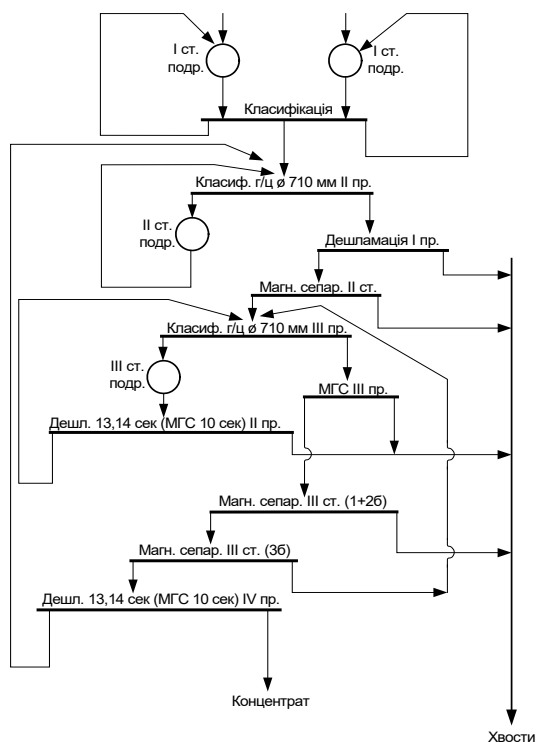


Рисунок 2 – Технологічна схема секцій № 10, 13, 14 ЗФ-2

СЕКЦІЇ № 3–8 (КУЛЬОВИЙ ВАРІАНТ)

Доподрібнення зливу класифікаторів у кульовому млині, який працює в замкненому циклі

з гідроциклонами $d = 500$ мм до крупності 75–85 % по класу мінус 53 мкм.

Збагачення зливу гідроциклонів $d = 500$ мм у другій стадії магнітної сепарації з попереднім знешламлюванням. Продуктами збагачення є магнітний продукт і відвальні хвости.

Доподрібнення магнітного продукту другої стадії сепарації у кульовому млині, який працює в замкненому циклі з гідроциклонами $d = 500$ мм (II-го прийому), до крупності 92,5–95,5 % класу мінус 53 мкм.

Розділення зливу гідроциклонів $d = 500$ мм (II прийому) за крупністю й магнітними властивостями у магнітному класифікаторі (МК), з попереднім знешламлюванням у II прийомі магнітно-гідровиховувача (МГС). Продуктами розподілу є злив МК, який повертається в голову процесу і піски МК. Збагачення у третій стадії магнітної сепарації з попереднім знешламлюванням пісків МК і наступним знешламлюванням концентрату.

ПОДРІБНЕННЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ

Подрібнена руда секції 1–2 (стержневий варіант) через підбункерні телескопічні живильники (для усунення сегрегації руди за крупністю у роботі повинно бути не менше 3-х живильників) конвеєром надходить у стержневий млин 1-й стадії подрібнення МСЦ $3,6 \times 5,5$ на 1–2 секціях. Контроль кількості руди, яка надходить у стержневий млин, здійснюється шляхом зважування її на тензометричних терезах типу 1954 АВ-10.

Стержневе навантаження складає 40 % об'єму млина, вага стержнів 130 тонн. Діаметр завантажуваних стержнів – 100 мм. Перекласифікація стержнів проводиться один раз за десять діб, з довантаженням стержнів через 5 діб. Витрата стержнів під час одного довантаження 20 тонн із розрахунку 3,6 тонн за добу на млин. Питомі витрати стержнів складають – 2,8379 кг/т виробленого концентрату. Щільність пульпи у розвантаженні стержневого млина підтримується 2500–2600 г/л, що відповідає 82–84 % твердого. Контроль надходження води до млина здійснюється автоматично, витратомірами.

Злив стержневого млина надходить у двоспіральний класифікатор, який працює в замкненому циклі з кульовим млином МШР $4,0 \times 5,0$. Вихідним продуктом для нього є піски класифікатора, при цьому продуктивність млина залежить від циркуляційного навантаження, яке не повинно перебільшувати 700 % (у середньому складає 250–350 %).

Кульове завантаження млина складає 45 % від об'єму (млин МШР 4,0 × 5,0), вага куль – 114 тонн. Діаметр довантажуваних куль 100 мм. Довантаження куль відбувається із розрахунку 2,5347 кг/т концентрату або 3,0 тонни за добу на один млин. Щільність пульпи в розвантаженні кульового млина II-ої стадії підтримується 2350–2450 г/л.

Регулювання щільності зливу класифікатора здійснюється надходженням води до жолобу розвантаження млина першої та другої стадії подрібнення. Щільність зливу класифікатора 1500–1700 г/л або 48–58 % твердого. Масова частка класу мінус 74 мкм у зливні класифікатора 45–55 %.

Млини МШЦ 4,0 × 5,5 III, IV стадії працюють у замкненому циклі з гідроциклонами $d = 500$ мм. Продуктивність млинів залежить від циркуляційних навантажень.

Кульове завантаження млинів складає 40 % від об'єму, вага куль 114–115 тонн. Завантаження куль проводиться 1 раз на добу із розрахунку 1,82 кг/т для III стадії і 1,219 кг/т виробленого концентрату для IV стадії. Діаметр куль для III стадії подрібнення 60 мм і розмір параболічних тіл циліндрів для IV стадії 28 × 32 мм.

Щільність зливу млинів III стадії подрібнення 2000–2300 г/л (62–66 % твердого), млинів IV стадії подрібнення 2000–2200 г/л (62–65 % твердого).

Масова частка класу мінус 53 мкм у зливні млина III стадії 35–40 %, IV стадії 70–80 %.

ПРОЦЕС КЛАСИФІКАЦІЇ В ГІДРОЦИКЛОНАХ ДІАМЕТРОМ 500 ММ

Вихідним продуктом, який подається в гідроциклон $d = 500$ мм I прийому є злив класифікатора і злив кульового млина III ст. подрібнення. Ці продукти із додатковою водою подаються в технологічний зумпф № 1.

Для гідро циклона $d = 500$ мм (II прийому) вихідним продуктом є промпродукт II стадії магнітної сепарації та злив кульового млина IV стадії подрібнення. Ці продукти із додатковою водою подаються у другий технологічний зумпф. Рівень пульпи підтримується постійним до двох метрів. Щільність живлення гідроциклонів $d = 500$ мм 1300–1370 г/л, щільність зливу гідроциклона $d = 500$ мм (I-ого прийому) – 1100–1200 г/л (12–22 % твердого), зливу гідроциклона $d = 500$ мм (II-го прийому) – 1050–1100 г/л (6–11 % твердого). Масова частка класу мінус 53 мкм у зливні гідроциклона 500 мм (I-го прийому) 75–85 %, у зливні гідроциклона $d = 500$ мм (II-го прийому) 92,5–95,5 %.

II І III СТАДІЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ

Живленням другої стадії магнітної сепарації всіх секцій є піски магнітних гідросепараторів I-го прийому; живленням III стадії магнітної сепарації – піски МГС III прийому.

Піски МГС розподіляються на всі працюючі сепаратори (у кількості – 6 шт. II-а стадія і така сама кількість на III стадії) через пульпорозподільники, у які подається вода для регулювання щільності живлення.

Збагачення пісків МГС на другій стадії магнітної сепарації відбувається у два прийоми, в результаті чого одержують кінцевий продукт другої стадії – промпродукт-II стадії II і хвости, які спрямовуються у відвал.

Збагачення у III стадії сепарації проводиться в три прийоми, у результаті чого отримують кінцевий продукт третьої стадії сепарації промпродукту три стадії три і хвости. Хвости першої і другої перечистки направляються у відвал, хвости третьої перечистки, об'єднують зі зливом магнітних класифікаторів і спрямовують у пульпорозподільник I-го прийому магнітної гідросепарації.

Додаткова вода повинна бути повністю відкрита і подаватися до ванни сепараторів. Масова частка заліза у промпродукті знаходиться у межах 50–55 %. Масова частка заліза у кінцевому концентраті технологічної секції 1–8 повинна бути не менше 62,0 % і відповідати місячному завданню, крупність подрібнення 92,5–95,5 % класу мінус 53 мкм.

МАГНІТНО-ГІДРАВЛІЧНА СЕПАРАЦІЯ (МГС)

Вихідним продуктом магнітної гідросепарації I-го прийому є злив гідроциклонів $d = 500$ мм I прийому, злив магнітних класифікаторів і хвости третьої перечистки третьої стадії магнітної сепарації.

Живленням гідросепарації II прийому є злив гідроциклонів $d = 500$ мм II прийому; живленням МГС III прийому – для 1–4 і 6 секцій – піски МГС II прийому, а для секцій 5, 7 – піски МК; живленням МГС IV прийому 1–4 і 6 секцій – піски магнітних класифікаторів.

Пульпа під час входу в МГС проходить через намагнічуючі апарати, що сприяє флокуляції магнітних частинок і збільшує швидкість їх осадження.

Щільність живлення МГС 1050–1140 г/л (20 % твердого).

З метою отримання бідних за залізом зливів, які йдуть у відвал, необхідно витримувати

щільність пісків МГС 1900–2000 г/л, тобто 60–65 % твердого для I прийому; 1700–1900 г/л, тобто 55–60 % твердого для II прийому МГС; 1650–1750 г/л, тобто 50–56 % твердого для III прийому і 1500–1700 г/л або 42–52 % твердого при знешламлюванні концентрату.

Контроль щільності пісків МГС I прийому здійснюється за допомогою «Автоматичної системи контролю і регулювання рівня магнетиту в дешламаторах».

МАГНІТНА КЛАСИФІКАЦІЯ (МК)

Вихідним продуктом магнітних класифікаторів є промпродукт-III третьої стадії магнітної сепарації, який рівномірно розподіляється на два магнітних класифікатори (МК) на секціях 1–4 і 6; на секціях 5, 7 живленням МК є піски II прийому МГС, які подаються на один магнітний класифікатор.

Щільність живлення МК 1150–1200 г/л, тобто 17–22 % твердого. Регулювання щільності живлення здійснюється надходженням води в розподільну коробку.

Для забезпечення нормальної роботи МК необхідна щільність пісків підтримується 1350–1400 г/л, щільність зливу 1100–1150 г/л. Дзеркало зливу повинно бути рівномірним і рясним.

Такі технологічні схеми забезпечують отримання концентрату з масовою часткою заліза загального 62,0 %, масова частка класу мінус 53 мкм складає 92,5–95,5 %.

ВІДДІЛЕННЯ № 2

ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ

Технологічні секції № 10–14 переробляють магнетитові кварцити пачки К-2-2.

Секції № 10–14 працюють за технологією без I стадії магнітної сепарації.

Подрібнення дробленої руди відбувається в комплексі агрегатів: два однотипні млини і односпіральний класифікатор.

Доподрібнення зливу класифікатора здійснюється у кульовому млині, який працює у замкнутому циклі з гідроциклонами $d = 710$ мм (II прийом), при цьому досягається крупність 75–85 % по класу мінус 53 мкм.

Збагачення зливу гідроциклонів $d = 710$ мм здійснюється у другій стадії магнітної сепарації з попереднім знешламлюванням. Продуктами є магнітний промпродукт і відвальні хвости.

Доподрібнення магнітного промпродукту другої стадії магнітної сепарації здійснюється у кульовому млині, який працює у замкнутому циклі з батареєю гідроциклонів $d = 710$ мм (III прийому) з наступним знешламлюванням зливу млинів.

Розподіл пісків МГС IV прийому з крупності й магнітних властивостей проводиться у магнітному класифікаторі (МК) на секціях 11, 12 з наступним поверненням зливу МК у голову процесу знешламлювання пісків МК.

Збагачення у третій стадії магнітної сепарації з попереднім знешламлюванням зливу гідроциклона 710 мм – у III прийомі (у два прийоми на секціях 11, 12 і в один на секціях 10, 13, 14) з наступним знешламлюванням кінцевого концентрату.

I СТАДІЯ ПОДРІБНЕННЯ

Дроблена руда через підбункерні телескопічні жолоби (для усунення сегрегації руди за крупністю працюючих жолобів повинно бути не менше 3-х), конвеєром надходить у два однотипних млини з центральним розвантаженням I-ї стадії подрібнення типу МШЦ 45 × 60.

Довантаження куль здійснюється із розрахунку 2,812 кг/т концентрату. Завантаження і довантаження здійснюється кулями $d = 100$ –125 мм 4,5 тонн за добу на один млин. Злив кульових млинів надходить у односпіральний класифікатор, який працює у замкнутому циклі з кульовими млинами. Вихідним продуктом для млинів є дроблена руда і піски класифікатора, при цьому продуктивність млинів залежить від циркуляційного навантаження, яке не повинне перевищувати 120 %.

Оптимальне кульове завантаження складає 40 % від об'єму млина, на 150 мм вище рівня горловини, вага кульового завантаження 150 тонн.

Розмір довантажуваних куль складає 125–100 мм.

Щільність зливу млина складає 1900–2100 г/л.

II І III СТАДІЇ ПОДРІБНЕННЯ

У другій і третій стадії подрібнення встановлено млини типу МШЦ 45 × 60, які працюють у замкнутому циклі з гідроциклоном $d = 710$ мм.

Вихідним продуктом для млинів II і III стадії подрібнення служать піски гідроциклона $d = 710$ мм, продуктивність млинів залежить від циркуляційних навантажень.

Кульове довантаження млинів проводиться раз за добу із розрахунку 1,1496 кг/т виробленого концентрату для II стадії і 0,962 кг/т для III стадії (табл. 3).

Таблиця 3 – Гранулометричний склад куль у млині

Діаметр, мм	60–50	40	до 40
Вихід, %	29,5	54,8	15,7

Щільність пульпи у зливів млина II стадії – 2000–2100 г/л або 65–68 % твердого; млинів III стадії – 1800–1900 г/л або 58–62 % твердого. Масова частка класу мінус 53 мкм II стадії складе 30–35 %, у III стадії – 73–83 %.

РОБОТА ГІДРОЦИКЛОНІВ

Вихідним продуктом для гідроциклонів діаметром 710 мм є у II прийомі: секції 11, 12 – злив класифікатора і злив млина II стадії подрібнення; секції 10, 13 і 14 – злив класифікатора, злив млинів II стадії подрібнення, злив магнітного гідросепаратора (секція 10) або злив дешламатора (секції 13, 14) IV прийому.

У III прийомі: секції 11, 12 – промпродукт-II другої стадії магнітної сепарації, піски МГС II прийому; секції 10, 13, 14 – промпродукт-II другої стадії магнітної сепарації, піски МНС (секція 10) і МД-9 (секції 13, 14) II прийому і хвости-III третьої стадії магнітної сепарації.

Подача вихідного продукту на гідроциклони з технологічних зумпфів здійснюється насосами 12 ГРК-8 з робочим колесом $d = 740$ мм. Для нормальної роботи насосів рівень пульпи у зумпфах регулюється водою і повинен підтримуватися постійним. Подачею води у зумпф регулюється щільність зливу гідроциклонів.

Щільність зливу гідроциклонів $d = 710$ мм II прийому 1100–1150 г/л (14–15 % твердого), пісків 2000–2100 г/л.

Щільність зливу гідроциклонів $d = 710$ мм III прийому 1080–1100 г/л (10–11 % твердого), пісків 1800–1900 г/л.

Масова частка класу мінус 53 мкм у зливів гідроциклонів 710 мм II прийому – 75–85 %, III прийому – 92,5–95,5 %.

МАГНІТНА СЕПАРАЦІЯ

На II черзі збагачувальної фабрики реалізується 2-стадійна схема збагачення на сепараторах ПБМ 90 × 250 ПП.

Технологічні показники роботи сепараторів регулюються рівномірністю розподілу твердого між сепараторами, не допускається робота на пустих пульподільниках, із закритою бризкальною і додатковою водою, з хвостовими насадками, які не розвантажуються.

Живленням II і III стадії магнітної сепарації є продукт, який пройшов знешламування в МГС або МД-9. Піски МГС або МД-9 через пульподільники розподіляються на всі працюючі сепаратори.

Збагачення продуктів на II стадії здійснюється в два прийоми, на III стадії – у три прийоми. Хвости перших двох прийомів II стадії спрямо-

вуються у відвал, хвости (1+2) III стадії на секціях 10, 13 і 14 у відвал, а на секціях 11 і 12 заведені у МГС III прийому. Хвости III прийому третьої стадії направляються у технологічний зумпф № 2 (секції 10, 13, 14) або на II прийом МГС (секції 11, 12).

Додаткова вода повинна подаватися у ванни сепараторів при повністю відчинених вентилях.

Масова частка заліза в магнітному продукті III-ої стадії магнітної сепарації 65,2–65,3 %.

Масова частка заліза у кінцевому концентраті технологічної схеми повинна бути не менше 65,3 % і відповідати місячному завданню щодо подрібнення, а саме 92,5–95,5 % класу мінус 53 мкм.

МАГНІТНО-ГІДРАВЛІЧНА СЕПАРАЦІЯ

Знешламування зливів гідроциклонів, зливів кульових млинів III стадії подрібнення пісків МК і кінцевого концентрату III стадії магнітної сепарації здійснюється в магнітних гідросепараторах (МГС): секція 10 – МГС II, III, IV прийом; секція 11, 12 – МГС I, II, III, IV прийом; секції 13, 14 – МГС III прийом.

Знешламування зливів гідроциклонів відбувається у два прийоми. Вихідним продуктом МГС I прийому є злив гідроциклона 710 мм II прийому; III прийому – злив гідроциклона 710 мм III прийому.

Живленням МГС II прийому є злив млина III стадії подрібнення; IV прийому – магнітний продукт III стадії магнітної сепарації на секціях 10, 13, 14 і піски магнітного класифікатора на секціях 11, 12.

Магнітно-гідравлічний сепаратор змонтований на основі МД-9 з додаванням однополярної магнітної ґратки. Величина напруги магнітного поля однополярної ґратки 600–800 ерстед.

МГС повинні працювати з багатим зливом, але неприпустимі випадки збільшення кількості зливу за рахунок ущільнення пісків (2200 г/л і більше).

ДЕШЛАМАЦІЯ

Знешламування зливу г/ц 710 мм II прийому (секції 10, 13, 14), кінцевого продукту III стадії магнітної сепарації (секції 13, 14), здійснюється на магнітних дешламаторах МД-9.

Пульпа при вході у дешламатор і МГС проходить через апарати, де намагнічується, що сприяє флокуляції магнітних частинок і збільшує швидкість їх осадження, відбувається більш ефективне відділення шламів та їх винос і злив.

Величина напруги магнітного поля на намагнічувальних апаратах – 400–800 ерстед.

Дешламатори повинні працювати зі зливом, але неприпустимі випадки збільшення кількості зливу за рахунок ущільнення пісків (2200 г/л і більше), оскільки це збільшує втрати масової частки заліза і призводить, у результаті, до запресування розвантажувальних патрубків дешламаторів.

Щільність живлення дешламаторів 1050–1150 г/л, до 20 % твердого.

З метою отримання бідних за масовою часткою заліза зливів, які спрямовуються у відвал, необхідно витримувати щільність пісків МГС і МД у межах:

1900–2000 г/л для I прийому (64–68 % твердого);

1800–2000 г/л для II прийому (60–68 % твердого);

1700–1900 г/л для III прийому (54–62 % твердого);

1700–1800 г/л для IV прийому (54–58 % твердого);

Концентрат із руд пачок К-2-2 і К-2-3 змішується на станціях перепомпування і у вигляді пульпи насосами подається на подальшу переробку – фабрику грудкування, для виробництва котунів.

ВИСНОВКИ. Введено у науковий обіг матеріали щодо сучасного стану технології збагачення різних типів залізних руд на Полтавському гірничо-збагачувальному комбінаті, уможливило компаративний аналіз аналогічних збагачувальних фабрик та системний пошук оптимальних рішень

як технологічних схем, так і режимних параметрів окремих технологічних процесів. По відділенню № 1 і № 2 збагачувальної фабрики Полтавського ГЗК розкриті особливості технології виробництва, зокрема, технологічних процесів подрібнення і класифікації, магнітної сепарації, магніто-гідравлічної сепарації, магнітної класифікації і класифікації на гідроциклонах, знешламлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авдохин В. М., Губин С. Л. Современное состояние и основные направления развития процессов глубокого обогащения железных руд. *Горный журнал*, 2007. № 2. С. 58–64.
2. Булах О. В. Розвиток технологій переробки бідних залізних руд гематит-мартитового складу. *Збагачення корисних копалин*, 2019. № 73 (114). С. 16–20.
3. Губин Г. Г., Губина В. Г. Возможности улучшения качества железорудных концентратов на ГОКах Кривбасса. *Горный журнал*, 2001. № 1. С. 45–47.
4. Xian Xie, Zi Xuan Yang, Xiong Tong, Ji Yong Li. Research on Exploration of Mineral Processing for a Iron Ore. *Advanced Materials Research*. 2015. Vol. 1094. Pp. 397–400. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1094.397
5. Xionglin Huang, Shimei Liu, Bin Su etc. Magnetic Separation Test of Australian Refractory iron ore [J]. *Modern mining*. 2012. 125 (6). Pp. 76–78.
6. Сокур М. І., Сокур І. М. Маркетинг енергоресурсів при збагаченні руд : монографія. Кременчук : ПП Щербатих, 2006. 300 с.
7. Красуля А. С., Мартиненко В. С., Зенин В. А., Равинская В. О. Система контроля качества продукции на Полтавском ГОК. *Горный журнал*, 2010. № 1. С. 25–27.

FEATURES OF TECHNOLOGY OF ENRICHMENT OF DIFFERENT TYPES OF IRON ORES OF POLTAVA DEPOSIT

Vita Ravinska

Head of the Testing Center

FERREXPO POLTAVA MINING, 16 Budivelnkyiv str., Horishni Plavni, Poltava Region, Ukraine, 39802;

ORCID: 0000-0003-3040-3938

Mykola Sokur

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Professor at the Department of Marketing

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600;

ORCID: 0000-0001-6779-3293

Roman Argat

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, argat.rg@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-9247-5297

Volodymyr Biletskyi

Doctor of Technical Sciences, Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, ukcdb@i.ua;

ORCID: 0000-0003-2936-9680

Ukraine is one of the world's leading producers of iron ore. Products of the ore-processing industry of Ukraine are one of the main items of foreign exchange earnings to the budget. There are 5 mining and processing plants operating in the Kryvyi Rih iron ore basin, which use ball and self-grinding technology. A specific ore beneficiation technology is used in the processing of ores of the Poltava iron ore deposit. The main product of the concentrator of Poltava Mining and Processing Plant is iron ore concentrate, which includes minerals: magnetite, martite, siderite, hematite, silica, calcium, silicates. Branches № 1 and № 2 of the concentrator of Poltava Mining and Processing Plant process ferruginous quartzites of Horishne-Plavynsky and Lavrykivsky deposits, represented by magnetite quartzites K-2-2 and cummingtonite-magnetite quartzites of pack K-2-3-3. Iron ore concentrate is produced in accordance with the technology developed by the Mechanobrkhormet Institute for the production of iron ore concentrate at the concentrator. The purpose of this article is to introduce into scientific circulation materials on the current state of ore-processing of different types of iron ores at the Poltava Mining and Processing Plant. The analysis of technological schemes and regime parameters of iron ore beneficiation at Poltava Mining and Processing Plant is performed. In particular, the departments № 1 and № 2 of the concentrator revealed the features of production technology, technological processes of grinding and classification, magnetic separation, magneto-hydraulic separation, magnetic classification and classification on hydrocyclones, desliming. This allows a comparative analysis of similar concentrators and scientific justification for choosing a technological scheme of iron ore processing for specific conditions. The complex description and analysis of the practice of iron ore processing at Poltava Mining and Processing Plant allows the systematic search for optimal solutions for both technological schemes and regime parameters of individual technological processes.

Key words: iron ores, enrichment, Poltava Mining and Processing Plant, technological schemes, mode parameters, ore-processing equipment, Kremenchug iron ore district.

REFERENCES

1. Avdokhin, V. M., Gubin, S. L. (2007). Sovremennoye sostoyaniye i osnovnyye napravleniya razvitiya protsessov glubokogo obogashcheniya zheleznykh rud [Current state and main directions of development of processes of deep enrichment of iron ores]. *Mining Journal*, 2007. Issue 2. Pp. 58–64. [in Russian]
2. Bulakh, O. V. (2019). Rozvytok tekhnolohiy pererobky bidnykh zaliznykh rud hematyt-martytovoho skladu [Development of technologies for processing poor iron ores of hematite-martite composition]. *Mineral enrichment*, 2019. Issue 73 (114). Pp. 16–20. [in Ukrainian]
3. Gubin, G. G., Gubina, V. G. (2001). Vozmozhnosti uluchsheniya kachestva zhelezorudnykh kontsentratorov na GOKakh Krivbassa [Opportunities to improve the quality of iron ore concentrates at the GOKs of Krivbass]. *Mining Journal*, 2001. Issue 1. Pp. 45–47. [in Russian]
4. Xian, Xie, Zi, Xuan Yang, Xiong Tong, Ji, Yong Li. Research on Exploration of Mineral Processing for a Iron Ore. *Advanced Materials Research*. 2015. Vol. 1094. Pp. 397–400. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1094.397 [in English]
5. Xionglin, Huang, Shimei, Liu, Bin, Su etc. Magnetic Separation Test of Australian Refractory iron ore [J]. *Modern mining*. 2012. 125 (6). Pp. 76–78. [in English]
6. Sokur, M. I., Sokur, I. M. (2006). Marketynh enerhoresursiv pry zbahachenni rud: monohrafiya [Marketing of energy resources in ore beneficiation: monograph]. *PP Shcherbatykh OV. Kremenchuk*, 300 p. [in Ukrainian]
7. Krasulya, A. S., Martinenko, V. S., Zenin, V. A., Ravinskaya, V. O. (2010). Sistema kontrolya kachestva produktsii na Poltavskom GOK [Product quality control system at the Ferrexpo poltava mining]. *Mining Journal*, 2010. Issue 1. Pp. 25–27. [in Russian]

Стаття надійшла 23.03.2022

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ

Микола Сокур

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри маркетингу

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600;

ORCID: 0000-0001-6779-3293

Роман Аргат

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, argat.rg@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-9247-5297

Володимир Білецький

доктор технічних наук, професор

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» вул. Кирпичова, 2, Харків,
Україна, 61002, ukcdb@i.ua;

ORCID: 0000-0003-2936-9680

Віта Равінська

начальник випробувального центру

ПрАТ «Полтавський ГЗК», вул. Будівельників, 16, Горішні Плавні, Полтавська область, Україна, 39802;

ORCID: 0000-0003-3040-3938

Залізні руди є основною промисловою мінеральною сировиною для виробництва чавуну та сталі. Зростання добування залізних руд останнім часом здійснюється за рахунок їхніх бідних різновидів, які вимагають високоефективного збагачення при підготовці їх до металургійної переробки. Мета статті – вибір раціональної принципової схеми збагачення залізистих кварцитів для таких мінеральних різновидів руд: магнетитова; карбонатно-магнетитова; силікатно-карбонатно-магнетитова; гематито-магнетитова; силікатно-магнетитова; магнетито-силікатна; гематито-мартитова; гематитова; магнетито-гематитова; лімоніто-мартитова; магнетито-лімоніто-мартитова; мартитова. Для вибору раціональної принципової схеми збагачення залізистих кварцитів виконано аналіз технологічних схем збагачення залізистих кварцитів з урахуванням їх текстури, структури, фізико-механічних властивостей, хімічного і мінералогічного складу. При цьому виділені такі основні структури руди: середнього вкраплення (індекс структури С), дрібновкраплена (індекс структури М), тонковкраплена (індекс структури Т₁), тонковкраплена (індекс структури Т₂), особливо тонковкраплена (індекс структури ВТ), дисперсна система (індекс структури Д). У результаті для окремих мінеральних різновидів і структури залізистих кварцитів обрані раціональні схеми їх збагачення, що забезпечують високу якість концентрату – максимальний вміст в ньому заліза. У процесі аналізу удосконалено методику вибору раціональних технологічних схем збагачення мінеральних різновидів залізних руд, яка пропонується до застосування в умовах вітчизняних гірничо-збагачувальних підприємств, зокрема, Криворізького залізорудного басейну.

Ключові слова: залізисті кварцити, збагачення залізних руд, технологічні схеми збагачення, текстура, структура, фізико-механічні властивості, хімічний і мінералогічний склад руд, якість залізорудного концентрату.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Залізні руди є основною промисловою мінеральною сировиною для виробництва чавуну та сталі. Вони класифікуються за вмістом рудних і нерудних мінералів [1].

До основних рудних мінералів залізних руд відносять наступні мінерали: магнетит –

Fe₃O₄ (72,3 % заліза), гематит і мартит – Fe₂O₃ (70 % заліза), сидерит – FeCO₃ (48,2 %), гетит – Fe OOH (63 %) і гідрогетит – FeOOH·H₂O (48–56 %) [2; 3].

Зростання добування залізних руд останнім часом здійснюється за рахунок їхніх бідних різновидів, які вимагають високоефективного

збагачення при підготовці їх до металургійної переробки Частка багатих залізних руд з вмістом заліза більше 55 %, які використовуються без збагачення, складає всього 9,4 %, в той час руд, які необхідно збагачувати за найпростішими схемами – 78–80 % [5; 6; 7].

Для промислової оцінки родовища залізних руд, які вимагають збагачення, необхідно мати великий обсяг інформації про їх речовий склад, текстуру, структуру, фізико-механічні властивості, хімічний склад. Під речовинним складом руд розуміють дані про хімічний і мінеральний склад. Текстура руд обумовлена формою, розміром і просторовим розташуванням агрегатів різного мінерального складу. Структура руди обумовлена формою, розміром та характером зростання зерен мінералів в агрегатах [8–12].

Фізико-механічні властивості руд обумовлені їх речовинним складом, текстурою, структурою та геологічними умовами їх утворення.

Хімічний склад руди дозволяє оцінити її якість, яка характеризується вмістом заліза та інших корисних і шкідливих елементів.

Мінеральний склад руди залежно від фізичних і фізико-хімічних властивостей основних рудних мінералів визначає метод збагачення

руди: магнітний, гравітаційний, флотаційний або комбінований [9–12].

Текстура і структура руди обумовлюють схему збагачення руди. Від текстури залежать необхідна початкова і кінцева крупність подрібнення, яка забезпечує оптимальне розкриття корисних компонентів. Структура впливає на число стадій подрібнення і крупність кінцевих продуктів за стадіями для забезпечення максимального розкриття основних рудних мінералів. За результатами вивчення складу зерен рудних мінералів, наявності в них різних включень й ізоморфних домішок визначають можливий максимальний вміст заліза в концентраті та склад домішок у ньому [12].

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Рациональну технологічну схему збагачення того чи іншого типу залізної руди вибирають на основі науково-обґрунтованих і експериментально підтверджених результатах досліджень руди на збагачуваність.

Найбільш поширені на практиці схеми збагачення різних типів залізних руд наведені нижче на рис. 1.

Схема гравітаційного збагачення (рис. 1, а) застосовується при збагаченні дрібно- і середньовкраплених гематито-магнетитових і гематито-мартитових руд [13].

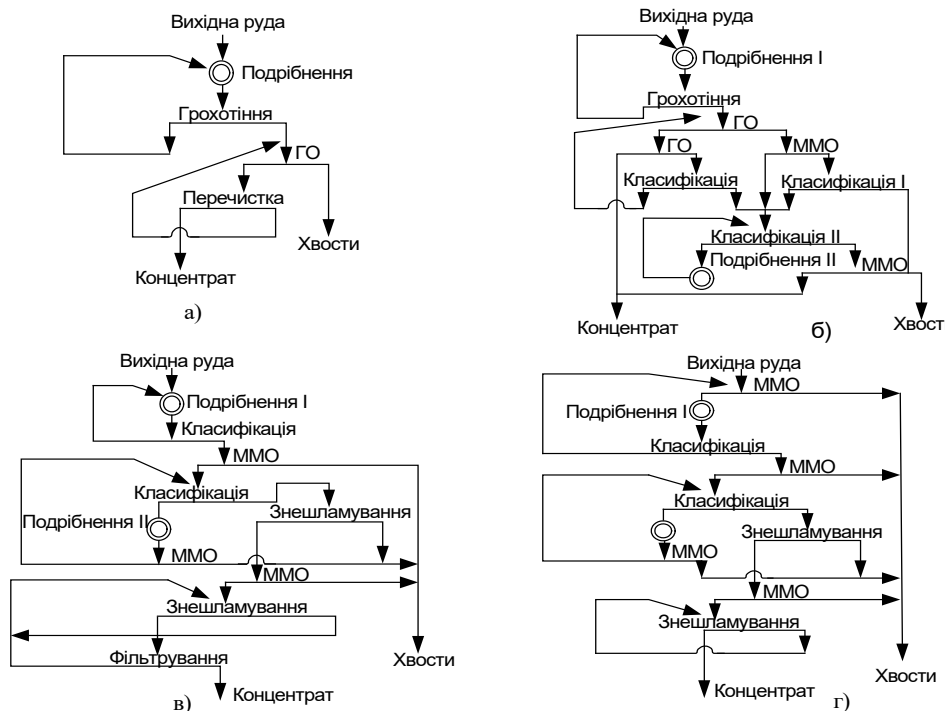


Рисунок 1 – Технологічні схеми збагачення різних типів залізних руд: а – схема гравітаційного збагачення; б – гравітаційно-магнітна схема; в – схема магнітного збагачення; г – магнітна схема з попереднім сухим збагаченням

Гравітаційно-магнітна схема (рис. 1, б) також найбільш ефективна при збагаченні дрібновкраплених і середньовкраплених гематито-магнетитових і магнетито-гематитових руд, з більш вираженими магнітними властивостями [6].

Магнітна схема з попереднім сухим збагаченням (рис. 1, г) ефективна при збагаченні середньо- і дрібновкраплених сілікатно-магнетитових і магнетито-сілікатних руд [6].

Принципові технологічні схеми, показані на рис. 2, д, е, застосовуються при збагаченні середньо- і дрібновкраплених гематито-магнетитових руд, при цьому схема на рис. 2, е включає застосування методів флотації.

Схема магнітного збагачення (рис. 2, в) широко застосовується при збагаченні середньо- і дрібновкраплених магнетитових, гематито-магнетитових та сілікатно-магнетитових руд, а також усіх структур карбанатно-магнетитових і сілікатно-корбанатно-магнетитових руд [6].

Для збагачення середньовкраплених і особливо тонковкраплених руд застосовують схеми тристадійного подрібнення, що дозволяє досягти більшої тонини помолу і краще розкрити корисний компонент. Найбільш широке застосування із них знайшли технологічні схеми магнітного збагачення та магнітні з попереднім сухим збагаченням (рис. 3, ж і з).

Останнім часом для отримання високоякісних концентратів із тонковкраплених залізних руд усе частіше застосовують технологічні схеми магнітно-флотаційного збагачення, чисто флотаційного збагачення та магнітного збагачення в сильному магнітному полі (рис. 4, и, к та рис. 5, л, м), де и – магнітно-флотаційна схема з 4-стадіальним подрібненням, к – магнітна із збагаченням в сильному магнітному полі [7; 10; 11].

У ряді випадків для збагачення особливо тонковкраплених залізних руд, а особливо – руд з дисперсною структурою – можуть бути ефективними схеми магнітно-флотаційного або чисто флотаційного збагачення, показані на рис. 5, л, м [13–15].

На всіх наведених вище схемах збагачення залізних руд прийняті наступні умовні позначення: ГО – гравітаційне збагачення; ВМО – високоінтенсивне магнітне збагачення; ОФ – основна флотація; ПФ – перечисна флотація; КФ – контрольна флотація; ММО – мокре магнітне збагачення.

Результати проведеного аналізу з вибору принципів схем збагачення залізних руд та рекомендації з їх вибору залежно від типу і структури руд наведені в таблиці 1.

Для прикладу на рис. 6 наведена схема ланцюга апаратів збагачення дрібновкрапленої

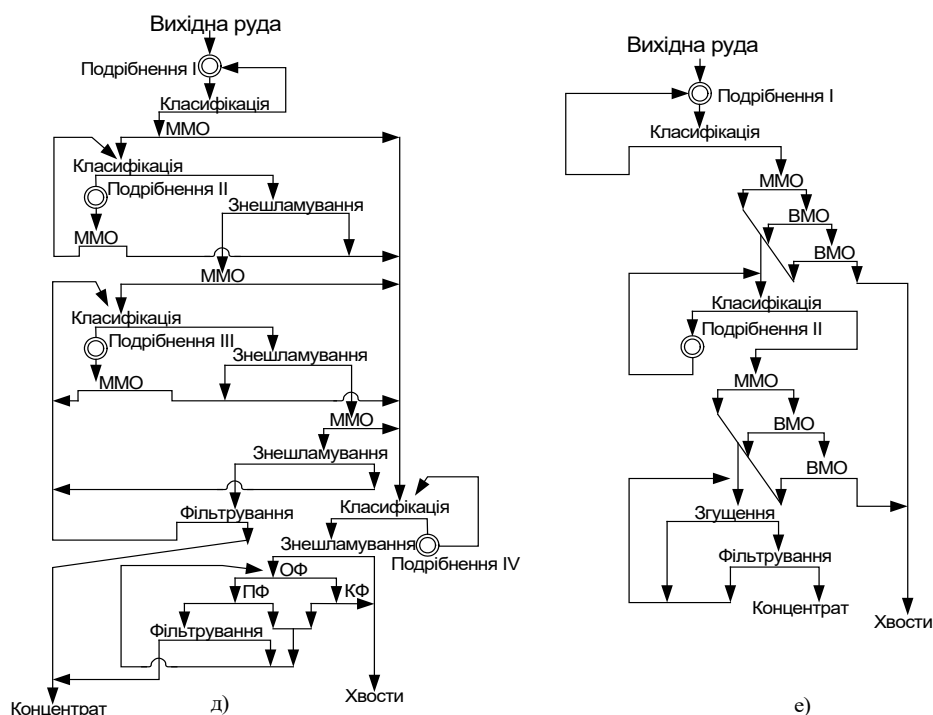


Рисунок 2 – Принципові технологічні схеми збагачення гематито-магнетитових залізних руд: д – магнітно-гравітаційна схема, е – магнітно-флотаційна схема

магнетитової залізної руди (принципова схема подана на рис. 1, в), яка застосовується на збагачувальній фабриці Інгулецького ГЗК.

Збагаченню піддається руда поточного видобутку (магнетитові кварцити), які добуваються в кар'єрі відкритим способом, з вмістом заліза

загального 32–33 % і заліза магнетитового 23–24 %. Видобута в кар'єрі руда дробиться до крупності 350-0 мм і надходить у бункери збагачувальної фабрики. З бункеру руда надходить у млини 1-ої стадії самоподрібнення ММС-70-23, які працюють у замкненому циклі

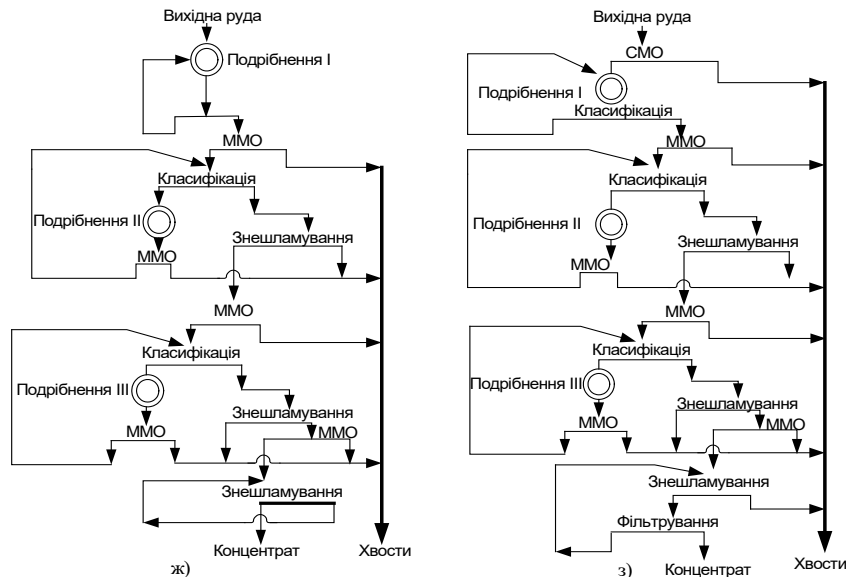


Рисунок 3 – Принципові технологічні схеми збагачення середньовкrapлених і тонковкrapлених залізних руд з тристадіальним подрібненням: ж – тристадіальна схема магнітного збагачення, з – тристадіальна схема магнітного збагачення з попереднім сухим збагачення

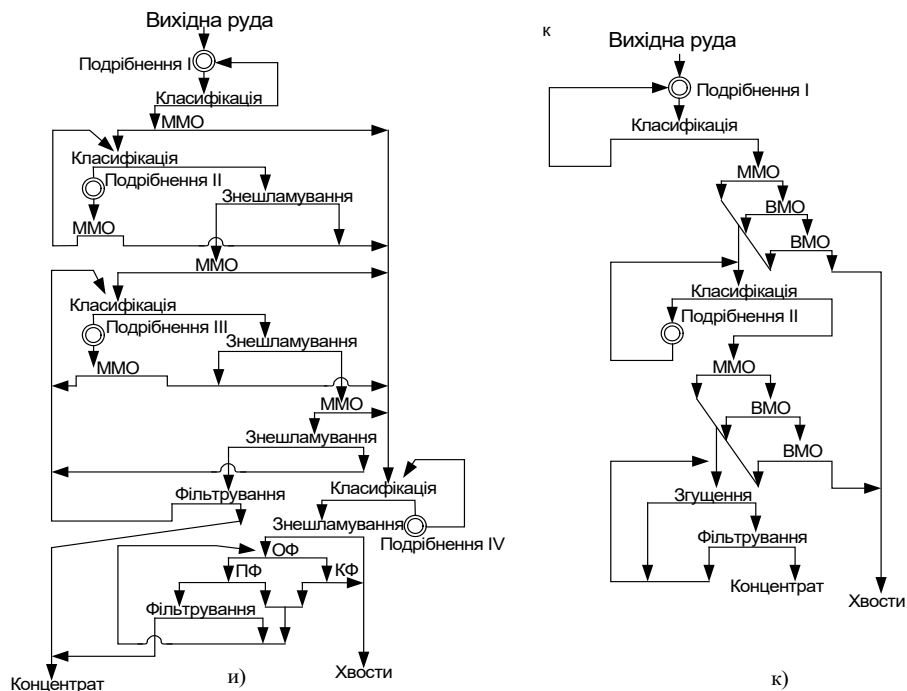


Рисунок 4 – Принципові технологічні схеми збагачення тонковкrapлених залізних руд: и – магнітно-флотаційна схема з 4-х стадіальним подрібненням, к – магнітна із збагаченням у сильному магнітному полі

з односпіральними класифікаторами типу 1КСН 2,5 × 12,5, злив яких надходить у першу стадію магнітної сепарації.

Галя, яка виводиться з млина самоподрібнення ММС-70-23, надходить в 2-гу стадію подрібнення, яка здійснюється в млину рудногалечному МРГ-40-75.

Млин МРГ-40-75 оснащений металевими класифікуючими бутарами з отворами діаметром 8–15 мм. Рудногалечний млин, як і млин само-

подрібнення, працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором, злив якого надходить до 2-ої стадії магнітної сепарації, а скрап (піски) повертаються до млина.

ВИСНОВКИ. Описано методику вибору раціональної принципової схеми збагачення залістих кварцитів для таких мінеральних різновидів руд: магнетитова; карбонатно-магнетитова; силікатно-карбонатно-магнетитова; гематито-магнетитова; силікатно-магнетитова; магне-

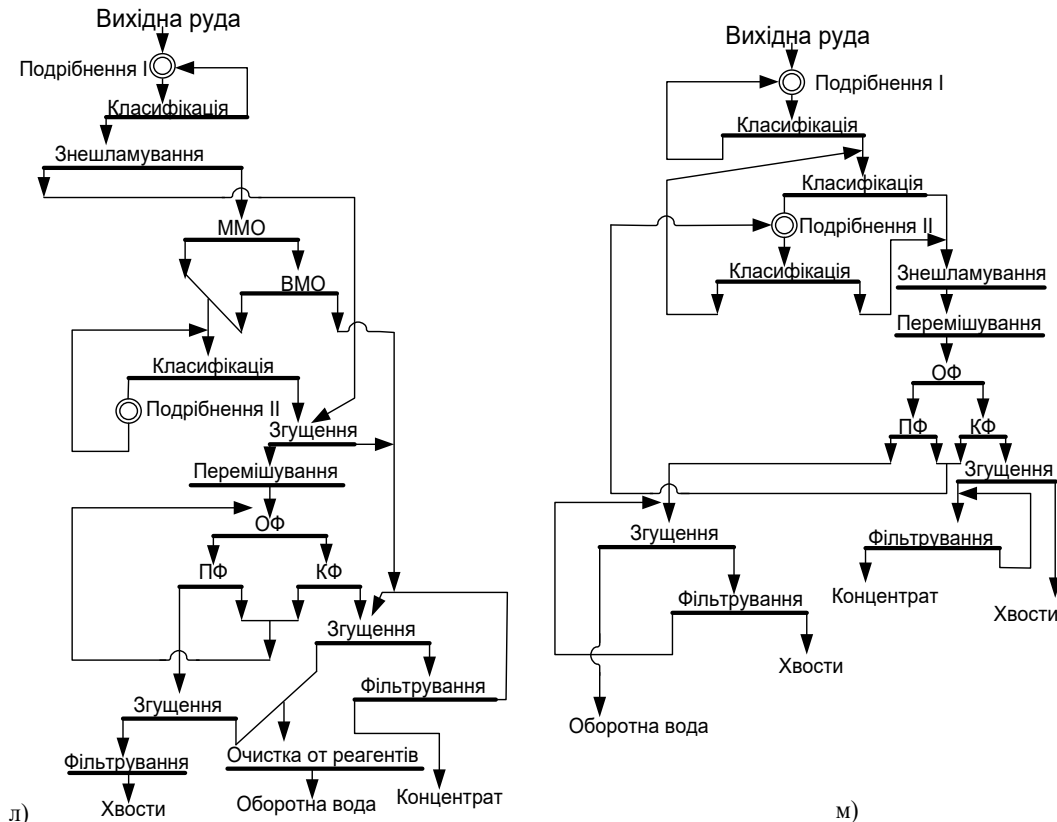


Рисунок 5 – Технологічні схеми збагачення особливо тонковкраплених залізних руд та залізних руд з дисперсною структурою: л – магнітно-флотаційна схема, м – флотаційна схема збагачення

Таблиця 1 – Вибір принципової схеми збагачення залістих кварцитів (див. рис. 1–5, а–м)

Структура руд	Індекс структури	Схема, що рекомендується для збагачення мінеральних різновидів								
		М	КМ, СКМ	ГМ	СМ	МС	ГМр, Г	МГ	ЛМр, МЛМр	Мр, ГМр
Середнього краплення	С	в, ж	в	в, е	в, г	г	а, б, з, к	а, б	–	–
Дрібнокраплена	М	в	в	в, е	в, г	г	а, б, к	а, б	к, л	к, л
Тонковкраплена	Т ₁	ж	в	ж, и	ж, з	з	к, л	к, л	к, л	к, л
Тонковкраплена	Т ₂	ж	в	ж, и	ж, з	з	к, л	к, л	к, л	к, л
Особливо тонковкраплена	ВТ	ж	–	ж, и	ж, з	з	к, л	к, л	м	м
Дисперсна система	Д	ж	–	ж, и	ж, з	з	к, л	к, л	м	м

Примітки: М – магнетитова; КМ – карбонатно-магнетитова; СКМ – силікатно-карбонатно-магнетитова; ГМ – гематито-магнетитова; СМ – силікатно-магнетитова; МС – магнетито-силікатна; ГМр – гематито-мартитова; Г – гематитова; МГ – магнетито-гематитова; ЛМр – лімоніто-мартитова; МЛМр – магнетито-лімоніто-мартитова; Мр – мартитова.

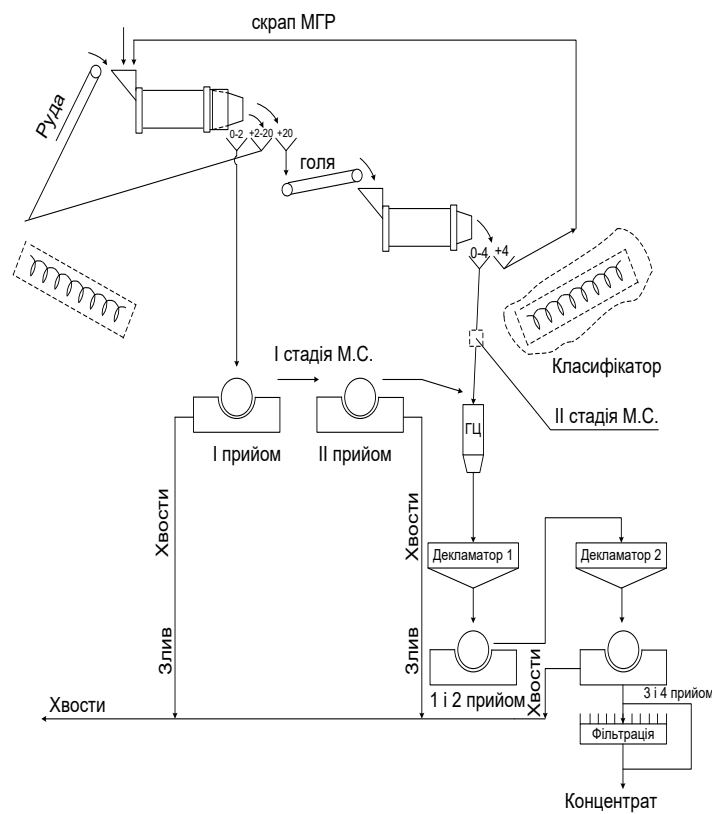


Рисунок 6 – Схема ланцюга апаратів РЗФ-2 ІнГЗК

тито-силікатна; гематито-мартитова; гематитова; магнетито-гематитова; лімоніто-мартитова; магнетито-лімоніто-мартитова; мартитова. При цьому врахована їх текстура, структура, фізико-механічні властивості, хімічний і мінералогічний склад. Запропоновано раціональні принципи схеми збагачення залізистих кварцитів в умовах гірничо-збагачувальних підприємств Криворізького залізорудного басейну. Подана раціональна схема ланцюга апаратів процесу збагачення дрібно-вогнєтової магнетитової залізної руди.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / ред. В. С. Білецький. Донецьк : Донбас, 2004. Т. 1: А–К. 640 с. ISBN 966-7804-14-3.
2. IRON ORE – Hematite, Magnetite & Taconite. Mineral Information Institute. Retrieved on 2006-04-07. <https://web.archive.org/web/20060417160321/http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html>
3. Білецький В. С., Суярко В. Г., Іщенко Л. В. Мінералого-петрографічний словник. Книга перша. Мінералогічний словник. Харків : НТУ «ХПІ», Київ : ФОП Халіков Р. Х., 2018. 444 с.
4. Сокур М. І., Білецький В. С., Божик Д. П. Збірник наукових праць. Кременчук. нац. ун-т ім. М. Остроградського. Кременчук : Новабук, 2022. 294 с.
5. Сокур М. І., Білецький В. С., Ведмідь І. А., Робота Є. М. Рудопідготовка: дроблення, подрібнення, грохочення : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2020. 494 с.
6. Кармазин В. И. Обогащение руд черных металлов. Москва : Недра, 1982. 216 с.
7. Xian Xie, Zi Xuan Yang, Xiong Tong, Ji Yong Li. Research on Exploration of Mineral Processing for a Iron Ore. *Advanced Materials Research*. 2015. Vol. 1094. Pp. 397–400. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1094.397
8. Підготовка корисних копалин до збагачення : монографія / М. І. Сокур, В. С. Білецький, О. І. Стурнов, О. М. Воробйов, В. О. Смирнов, Д. П. Божик; Кременчуцький національний ун-т ім. М. Остроградського, Академія гірничих наук України. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2017. 392 с.
9. Смирнов В. О., Білецький В. С. Гравітаційні процеси збагачення корисних копалин : навчальний посібник. Донецьк : Східний видавничий дім, 2005. 300 с.
10. Білецький В. С., Смирнов В. О. Переробка і якість корисних копалин (курс лекцій). Донецьк : Східний видавничий дім, 2005. 324 с.
11. Смирнов В. О., Білецький В. С. Флотаційні методи збагачення корисних копалин. Донецьк : Східний видавничий дім, НТШ-Донецьк, 2010. 496 с.
12. Папушин Ю. Л., Смирнов В. О., Білецький В. С. Дослідження корисних копалин на збагачува-

ність : навчальний посібник. Донецьк : Східний видавничий дім, НТШ-Донецьк, 2006. 344 с.

13. Сокур М. І., Сокур І. М. Маркетинг енергосурсів при збагаченні руд : монографія. Кременчук : ПП Щербатих, 2006. 300 с.

14. Сокур М. І., Білецький В. С., Смирнов В. О. Рациональні компоновальні рішення відділень подрібнення рудозбагачувальних фабрик. *Збагачення*

корисних копалин : наук.-техн. зб. Дніпро : ДВНЗ «НГУ», 2019. № 75 (116). С. 39–45.

15. Сокур М. І., Воробйов В. В., Аргат Р. Г., Білецький В. С., Пузир Р. Г. Удосконалення технології подрібнення магнетитових кварцитів на гірничому підприємстві. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук : КрНУ, 2020. № 5–6 (124–125). С. 87–95.

SELECTION OF RATIONAL PRINCIPLE SCHEME OF IRON QUARTZ ENRICHMENT

Mykola Sokur

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Marketing

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600;

ORCID: 0000-0001-6779-3293

Roman Argat

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, argat.rg@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-9247-5297

Volodymyr Biletskyi

Doctor of Technical Sciences, Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, ukcdb@i.ua;

ORCID: 0000-0003-2936-9680

Vita Ravinska

Head of the Testing Center

FERREXPO POLTAVA MINING, 16 Budivelnikiv str., Horishni Plavni, Poltava Region, Ukraine, 39802;

ORCID: 0000-0003-3040-3938

Iron ore is the main industrial mineral raw material for the production of iron and steel. The recent increase in iron ore mining is due to their poor varieties, which require highly efficient dressing in preparation for metallurgical processing. carbonate-magnetite; silicate-carbonate-magnetite; hematite-magnetite; silicate-magnetite; magnetite-silicate; hematite-martite; hematite; magnetite-hematite; limonite-martite; magnetite-limonite-martite; martite. To select a rational basic scheme of dressing of ferrous quartzites, the analysis of technological schemes of dressing of ferrous quartzites was performed taking into account their texture, structure, physical and mechanical properties, chemical and mineralogical composition. As a result, rational schemes of their dressing were chosen for certain mineral varieties and structures of ferruginous quartzites. The following main structures of ore are distinguished: The following main structures of ore are distinguished: medium inclusions (structure index C), fine-grained (structure index M), fine-grained (structure index T₁), finely interspersed (structure index T₂), especially fine-grained (index structure of VT), dispersed system (index of structure D). In the process of analysis the method of selection of rational technological schemes of beneficiation of mineral varieties of iron ores is improved, which is offered for application in the conditions of domestic mining and processing enterprises, in particular, Kryvyi Rih iron ore basin.

Key words: ferrous quartzites, iron ore dressing, technological dressing schemes, texture, structure, physical and mechanical properties, chemical and mineralogical composition of ores.

REFERENCES

1. Biletsky, V. S. (2004). Mala hirnycha entsyklopediya [Small mining encyclopedia] in 3 volumes. ed. V. S. Biletsky., Vol. 1. *Donbas*. Donetsk, 640 p. [in Ukrainian]. ISBN 966-7804-14-3.
2. IRON ORE – Hematite, Magnetite & Taconite. *Mineral Information Institute*. Retrieved on 2006-04-07. [in English]
3. Biletsky, V. S., Suyarko, V. G., Ishchenko, L. V. (2018). Mineraloho-petrohrafichnyy slovnyk. Knyha persha. Mineralohichnyy slovnyk [Mineralogical and petrographic dictionary. Book one. Mineralogical dictionary]. *NTU "KhPI"*. Kharkiv. *FOP Khalikov RH*. Kyiv, 640 p. [in Ukrainian]
4. Sokur, M. I., Biletsky, V. S., Bozhyk, D. P. (2022). Zbirnyk naukovykh prats [Collection of scientific works]. *Nova buk*. Kremenchuk, 294 p. [in Ukrainian]
5. Sokur, M. I., Biletsky, V. S., Vedmid, I. A., Robota, Ye. M. (2020). Rudopidhotovka: droblennya, podribnennya, hrokhochennya : monohrafiya [Ore preparation: crushing, crushing, screening : monograph]. *PP Shcherbatykh OV*. Kremenchuk, 494 p. [in Ukrainian]
6. Karmazin, V. I. (1982) Obogashcheniye rud chernykh metallov [Enrichment of ores of ferrous metals]. *Nedra*. Moscow, 216 p. [in Russian]
7. Xian, Xie, Zi, Xuan Yang, Xiong, Tong, Ji, Yong Li. Research on Exploration of Mineral Processing for a Iron Ore. *Advanced Materials Research*. 2015. Vol. 1094. Pp. 397–400. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1094.397 [in English]
8. Sokur, M. I., Biletsky, V. S., Yehurnov, O. I., Vorobyov, O. M., Smyrnov, V. O., Bozhyk, D. P. (2017). Pidhotovka korysnykh kopalyn do zbahachennya : monohrafiya [Preparation of minerals for enrichment : monograph]. *Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Academy of Mining Sciences of Ukraine. PP Shcherbatykh OV*. Kremenchuk, 392 p. [in Ukrainian]
9. Smyrnov, V. O., Biletsky, V. S. (2005). Hravitatsiyni protsesy zbahachennya korysnykh kopalyn : navchalnyy posibnyk [Gravitational processes of mineral enrichment : a textbook]. *Eastern Publishing House*. Donetsk, 300 p. [in Ukrainian]
10. Biletsky, V. S., Smyrnov, V. O. (2005). Pererobka i yakist korysnykh kopalyn (kurs lektsiy) [Processing and quality of minerals (lecture course)]. *Eastern Publishing House*. Donetsk, 324 p. [in Ukrainian]
11. Smyrnov, V. O., Biletsky, V. S. (2010). Flotatsiyni metody zbahachennya korysnykh kopalyn [Flotation methods of mineral beneficiation]. *Eastern Publishing House, NTSh-Donetsk*. Donetsk, 496 p. [in Ukrainian]
12. Papushin, Yu. L., Smirnov, V. O., Biletsky, V. S. (2006). Doslidzhennya korysnykh kopalyn na zbahachuvannist : navchalnyy posibnyk [Research of minerals for enrichment : a textbook]. *Eastern Publishing House, NTSh-Donetsk*. Donetsk, 344 p. [in Ukrainian]
13. Sokur, M. I., Sokur, I. M. (2006). Marketynh enerhoresursiv pry zbahachenni rud : monohrafiya [Marketing of energy resources in ore beneficiation : monograph]. *PP Shcherbatykh OV*. Kremenchuk, 300 p. [in Ukrainian]
14. Sokur, M. I., Biletsky, V. S., Smyrnov, V. O. (2019). Ratsionalni komponuvalni rishennya viddilen podribnennya rudozbahachuvalnykh fabryk [Rational layout solutions of crushing departments of ore-dressing factories]. *Enrichment of minerals: scientific and technical. coll. DVNZ "NHU"*. Dnipro, issue 75, pp. 39–45. [in Ukrainian]
15. Sokur, M. I., Vorobyov, V. V., Arhat, R. H., Biletsky, V. S., Puzyr, R. H. (2020). Udoshkonalennya tekhnolohiyi podribnennya mahnetytovykh kvartsytyv na hir-nychomu pidpryyemstvi [Improving the technology of grinding magnetite quartzites at the mining enterprise]. *Bulletin of the Mykhailo Ostrohradsky KrNU*. Kremenchuk, issue 5–6 (124–125), pp. 87–95. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 21.02.2022

МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ КУЗОВНИХ І ОБЛИЦЮВАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТУ

Ігор Кузєв

старший викладач кафедри транспортних технологій

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, igor-kuzev@ukr.net;

ORCID: 0000-0002-3403-7069

Володимир Драгобецький

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри «Технології машинобудування»

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, vldrag@kdu.edu.ua;

ORCID: 0000-0001-9637-3079

Сергій Шлик

кандидат технічних наук,

доцент кафедри технології машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, svshlyk@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-9422-1637

Дмитро Молоштан

кандидат технічних наук,

старший викладач кафедри транспортних технологій

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, moloshtandima@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-8881-8541

Розробка математичної моделі з використанням методу морфологічного аналізу виконано систематизацію, огляд, аналіз усіх можливих методів вирішення складної багатопланової проблеми, метою якої є визначення технологій усунення пошкоджень облицювальних деталей транспортних засобів.

Вирішення мети, що поставлена, здійснюється шляхом використання евристичних методів науково-технічного прогнозування, комплексної оцінки інформаційних фондів патентної та науково-технічної інформації, системний аналіз, метод класифікації та методи функціональних зв'язків. Подальшого розвитку отримав фонд фізико-технічних ефектів та законів пластичної деформації принципами силової дії вакуум та самочинного формоутворення. Надано класифікацію облицювальних та кузовних деталей транспортних засобів за двома визначальними складовими цих деталей. Визначено раціональні технології відновлення та рихтування листових облицювальних деталей транспортних засобів. Доповнено класифікацію вм'ятин та пошкоджень листових деталей легкових автомобілів. Обґрунтовано доцільність рихтування (усунення) вм'ятин цінних видів транспорту, що здійснюють вантажні перевезення та ін.

Визначено 914 457 варіантів ремонту та відновлення облицювальних деталей транспортних засобів. Визначено та систематизовано технологічні можливості імпульсних методів рихтування облицювальних деталей транспортних засобів. Обґрунтовано доцільність використання вакуумного рихтування після пошкодження облицювальних деталей легкових автомобілів. Систематизовано технологічні засоби відновлення та рихтування облицювальних та кузовних деталей транспортних засобів. Визначено область раціонального застосування вакуумного рихтування шляхом узагальнення силових та технологічних параметрів імпульсних методів пластичного деформування.

Ключові слова: ремонт деталей, транспорт, цільова функція, вагові коефіцієнти, модель, рихтування (усунення) вм'ятин, відновлення.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Інтенсивне багатофункціональне і не завжди кваліфіковане використання коштів на утримання наземного транспорту (автомобілів, вагонів, тракторів і т. д.) вимагає їх якісного технічного обслуговування та ремонту. Під час експлуатації одного з видів наземного транспорту – вагонів відбувається старіння кузовних деталей і їх пошкодження унаслідок взаємодії з вантажно-розвантажувальною технікою та вантажем, що перевозиться, через вандалізм та ін. Питання ремонту кузовних деталей гусеничного транспорту не викликає особливих труднощів і не постає так гостро.

Підприємства, які виконують ремонт транспортних засобів (вагоноремонтні, судноремонтні, авто- та авіаремонтні) надто потребують сучасного універсального ковальсько-пресового обладнання. Одним зі способів підвищення життєвого циклу виробів транспорту є їх ремонт. У дослідженні ремонт пов'язаний із заміною облицювальних і кузовних деталей та їхніх елементів у разі необхідності їх заміни, унаслідок поступового старіння (корозія/ерозія), зношування або механічних пошкоджень.

Причинами останніх в більшості випадків можуть бути нераціональний вибір технології виготовлення деталей, вузлів і агрегатів, порушення правил навантаження, вивантаження вантажів і маневрових операцій, незадовільний стан елементів верхньої будови колії та рухомого складу, відступ від регламентованої технології складання конструкції.

Виробництво та відновлення листових кузовних й облицювальних деталей пов'язано з необхідністю забезпечення достатнього рівня робочих зусиль преса, габаритних розмірів постелі та необхідної величини робочого ходу деформувального інструменту. Розв'язати завдання розширення технологічних можливостей зниження енерго- і металоємності та підвищення робочих зусиль можливо з використанням методів імпульсного листового штампування (штампування вибухом, магнітно-імпульсним, електрогідравлічним та ін.), а також процесів обробки металів тиском, за яких відбувається мимовільне формозмінювання заготовки унаслідок незначної силової або теплової дії. Зменшення деформувальних зусиль досягається завдяки вибору найбільш раціонального способу формозмінювання та схеми деформування.

Механічний знос, в свою чергу, проявляється у двох формах: зносів тертя і тиску. Ці види механічного зносу можна спостерігати на прикладі

зносу поверхні катання бандажу коліс візка трамвайного вагона. У процесі експлуатації під дією електричного поля, впливу температурного режиму, теплового впливу, вібромеханічного та електродинамічного впливів деталі електротехнічного обладнання транспортних засобів змінюють свої ізоляційні властивості. Крім цього значна кількість відмов виникає у контактних системах електричних апаратів внаслідок механічного зносу контактів, електротермічного та електроерозійного зносів.

До технологічних методів ремонту транспортних засобів відносять наступні методи: знеособлений (позбавлений індивідуальності), незнеособлений (не позбавлений індивідуальності), агрегатний і вузловий.

Удосконалення технологічного оснащення застосовуваного в листоштампувальному виробництві на ремонтних підприємствах, відбувається завдяки підвищенню його універсальності, що забезпечує можливість його багаторазового застосування за зміни об'єктів виробництва.

Не менш ефективною є в цьому випадку робота та створення безштампових засобів технологічного оснащення, застосування штампів блоково-пакетного типу змінного інструменту.

Особливо актуально постає проблема ремонту та відновлення кузовних і облицювальних деталей колісного транспорту. Збільшення кількості автомобілів у світі нерозривно пов'язане з ростом дорожньо-транспортних пригод, що є серйозною проблемою в соціальній та економічній сферах суспільства.

Основна кількість дорожньо-транспортних пригод пов'язана з пошкодженням облицювальних тонколистових автокузовних деталей. За статистичними даними, наведеними в роботах А. В. Гнатова [1, 2–10], до 80 % пошкоджень припадає на невеликі та середні ушкодження, зазвичай це вм'ятини, незворотні прогини, гофри, пуклівки, місцеві стоншення і т. д., які не потребують заміни всього елемента обшивки кузова автомобіля. Відзначено, що більше половини таких пошкоджень складають зони з утрудненим або закритим зворотним доступом.

Найбільш трудомістким є процес рихтування облицювальних деталей легкових автомобілів після пошкодження графом. Серед методів відновлення автокузовних деталей автомобілів переважно використовують методи зовнішнього рихтування для відновлення деталей без розбирання порушення лакофарбових покриттів. Слід наголосити на необхідності рихтування не

тільки кузовних деталей легкових автомобілів, але й деталей залізничного транспорту та інших транспортних засобів. Тому наявність пошкоджень і вм'ятин є чинниками та прискорювачами корозії.

Метою дослідження є удосконалення та визначення раціональних способів усунення пошкоджень облицювальних деталей транспортних засобів при їх ремонті методами пластичного деформування.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Для визначення найбільш раціонального способу деформування для правки, рихтування, виготовлення модернізації кузовних та облицювальних деталей наземного транспорту необхідне застосування морфологічного методу заснованого на методах комбінаторики з урахуванням законів розвитку технічних систем та механіки суцільних середовищ [11].

Облицювальні та кузовні деталі з листа класифікуємо за двома визначальними параметрами або елементами, як запропоновано Е. І. Ісаченковим [5], що названі термінами «стінка» або «борт». Безліч деталей з листа об'єднані у вісім класів: деталі без борта з плоскою та криволінійною стінкою (класи 1, 2); деталі з плоским бортом без стінки (клас 3); з плоскою та криволінійною стінкою з плоскими бортами (класи 4, 5, 6); деталі з криволінійними бортами без стінки (хомути, прокладки і т. д.), які легко демонтуються (клас 7); деталі з криволінійними стінками та бортами (клас 8).

Переважають більшість облицювальних і кузовних деталей, які підлягають відновленню або заміні, це деталі без борта з плоскою та криволінійною стінкою незамкнутого контуру одинарної та подвійної кривизни. У свою чергу деталі одинарної кривизни поділяють на деталі однозначної та двозначної кривизни, аналогічно поділяють деталі подвійної кривизни. Рихтуванню можуть підлягати й деталі паливної системи: глушник, резонатор, труби, патрубки. Зазвичай це деталі замкнутого контуру одинарної та подвійної кривизни, однозначної та двозначної кривизни. Для визначення енергетичних і силових параметрів рихтування проводимо класифікацію вм'ятин відповідно до конструктивних класифікаторів лисових деталей автомобіля.

Серед видів наземного транспорту в морфологічну таблицю заносимо такі види транспорту y_j^1 :

y_1^1 – рейковий; y_2^1 – колісний; y_3^1 – гусеничний.

За місцем розташування вм'ятини поділимо y_j^2 :

y_1^2 – рихтування вм'ятин, розташованих на плоскій поверхні (борт й стінка); y_2^2 – рихтування вм'ятин із криволінійною поверхнею одинарної кривизни; y_3^2 – рихтування вм'ятин із криволінійною опуклою поверхнею одинарної кривизни; y_4^2 – рихтування вм'ятин із криволінійною увігнутою поверхнею; y_5^2 – рихтування вм'ятин із криволінійною опуклою заготовкою; y_6^2 – рихтування циліндричних (трубчастих) деталей; y_j^3 – рихтування конічних деталей.

За формою y_j^3 , де $j = 1, 2, \dots$; вм'ятини поділимо:

y_1^3 – вм'ятини подвійної кривизни; y_2^3 – прямолінійні вм'ятини; y_3^3 – циліндричного перетину; y_4^3 – прямокутного перетину; y_5^3 – трапецевидного перетину; y_6^3 – трикутного перетину; y_7^3 – вм'ятини подвійної двозначної кривизни; y_8^3 – криволінійні вм'ятини; y_9^3 – криволінійні вм'ятини циліндричного перетину; y_{10}^3 – криволінійні вм'ятини прямокутного перетину; y_{11}^3 – криволінійні вм'ятини трапецеподібного перетину; y_{12}^3 – криволінійні вм'ятини трикутного перетину.

Види пошкодження кузовних деталей y_j^4 :

y_1^4 – корозія; y_2^4 – ерозія; y_3^4 – механічні.

Механічні пошкодження можуть бути відновлюваними або такими, що усуваються або не усуваються. В останньому випадку відбувається порушення суцільності (пробіони та тріщини).

У вагобудуванні допустимо їх заварювати або використовувати накладки; для автомобільного транспорту це неприпустимо. Доцільно проблеми пошкодження розглядати спільно з класифікатором деталей наземного транспорту.

Слід зазначити, що кузовні деталі вагонів з глибиною вм'ятини, опуклості та прогином, меншим 25 мм, допускається експлуатувати. За ремонтпридатністю кузовні, облицювальні деталі поділяємо на відповідні ознаки y_j^5 :

y_1^5 – такі що підлягають ремонту; y_2^5 – такі що підлягають заміні; y_3^5 – з можливістю заміни цільної деталі на зварну, що складається з декількох елементів.

В останньому випадку в кузовних деталях вагонів і автомобілів, що містять елементи жорсткості допускається їх вирізання. Після цього виготовляють елемент жорсткості та приварюють замість старого. Це пов'язано з тим, що елементи жорсткості найбільш піддаються корозії в місцях вигинів. Окрім того, допускається виготовлення довгомірних профілів складеними. Слід

також додати до цього аспекту проблеми такі складові y_j^6 :

y_2^6 – з можливістю заміни матеріалу; y_2^6 – з можливістю змінювання форми.

З огляду на те, що термін експлуатації транспорту після ремонту значно менший, цілком раціонально виготовляти деталі, що підлягають заміні з дешевого матеріалу. Наприклад, для виготовлення ремонтних кришок люків для вагонів, що перевозять сипучі матеріали, допускається заміна сталі 09Г2С на сталь Ст 3. Однак при цьому слід зіставляти не тільки вартість, але й пластичні властивості матеріалів. Раціональним варіантом ремонту є дозвіл на заміну гофрованих листів консольних частин полу критих вагонів на гладкі товщиною 3 мм.

Аспектом проблеми є й штампування елементів деталей, які допускається виготовляти окремо. Зазвичай, це елементи рельєфу y_j^7 :

y_1^7 – ребра жорсткості (прямолинійний рифт); y_2^7 – пуклівки (сферичний рифт), видавки; y_3^7 – підсічки кінцеві; y_4^7 – підсічки серединні.

За умовами ремонту варіанти такі y_j^8 :

y_1^8 – у кустарних умовах; y_2^8 – на спеціалізованих підприємствах.

У кустарних умовах зазвичай ремонтують вм'ятини власники автомобілів, та доцільно навіть до аспектів проблеми додати необхідні технічні засоби. У межах цього аналізу не будемо деталізувати види ремонту на спеціалізованих підприємствах (деповський ремонт, капітальний, технічне обслуговування).

Обладнання, що застосовують для правки, рихтування та виготовлення нових деталей замість тих, що стали непридатними, розглянемо зазвичай, не вдаючись до детальної класифікації штампувального обладнання. Це пов'язано з великою різноманітністю ковальсько-штампувального і пресового устаткування та багатоваріантністю процесів формозмінювання, тобто одна й та сама деталь може бути виготовлена різними методами штампування, тому пропонуються такі варіанти y_j^9 :

y_1^9 – універсальне; y_2^9 – спеціалізоване; y_3^9 – обладнання, що застосовується не за прямим призначенням.

Останній варіант пов'язаний з можливістю використання, наявного на підприємстві обладнання, не за прямим призначенням. Наприклад, на кромкозгинальному стані можливо проводити не тільки згинання, а й формування, витяжку,

правку та інше. Для цього необхідно забезпечити кріпленням відповідного інструменту.

За видом формозмінювального впливу y_j^{10} :

y_1^{10} – одночасне; y_2^{10} – послідовне.

Деякі деталі кузовних деталей вагонів, що підлягають заміні під час ремонту, ремонтні підприємства не можуть виготовити через відсутність необхідного обладнання. Унікальні преси зусиллям 50 Мн (5000 т) є на вагонобудівних підприємствах. Однак їх завантаження досить велике та вклинитися до їх процесу майже неможливо. Тому ремонтники зазвичай звертаються до підприємств, що випускають автомобілі, які менше завантажені. Однак і ці підприємства не мають пресів зусиллям 50 Мн. У такому випадку доводиться вдаватися до пошуку варіантів послідовного впливу та поелементного штампування.

З огляду на те, що під час виправлення та рихтування облицювальних деталей автомобілів знаходять застосовують методи магнітно-імпульсного та вакуумного штампування, слід розглянути й види середовища, що впливає на ефективність процесів рихтування. Перевага методу пов'язана з можливістю не порушувати лакофарбове покриття пошкоджених деталей. Слід зазначити, що на підприємствах, які обслуговують вантажні вагони, є магнітно-імпульсні установки (МІУС) для розпушення змерзлих вантажів. Ці установки за необхідності можна адаптувати й для виробництва листоштампувальних операцій.

Тому наступний аспект проблеми – вид середовища, що впливає на ефективність процесів рихтування, який використовують як інструмент y_j^{11} :

y_1^{11} – тверда; y_2^{11} – пластично в'язка; y_3^{11} – еластична; y_4^{11} – рідинна; y_5^{11} – газова; y_6^{11} – силове поле; y_7^{11} – вакуум, пар.

До того ж, як окремий аспект слід виокремити безштампові методи. Ці методи – y_j^{12} – передбачають:

y_2^{12} – штампування рідиною, що кристалізується; y_2^{12} – деформування металами, що «розбухає»; y_3^{12} – деформування за допомогою використання процесу епітаксії; y_4^{12} – магнітно-імпульсне штампування; y_5^{12} – вакуумне штампування; y_6^{12} – деформування з використанням реактивних складових деформувальних зусиль.

Результати морфологічного аналізу зведені в таблицю (табл. 1.1)

Морфологічна комбінаторика передбачас:

$$3 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 7 \cdot 6 = 914457$$

варіантів технологій ремонту та відновлення кузовних і облицювальних деталей автомобілів.

Варіант $y_2^1, y_3^4, y_1^5, y_2^8, y_2^9, y_2^{10}, y_6^{11}, y_4^{12}$ відповідає технології ремонту вм'ятин з використанням магнітно-імпульсного штампування. Цю ж технологію можна використовувати в процесах формування та формування витяжки.

Варіант $y_2^1, y_3^4, y_1^5, y_1^6, y_1^8, y_2^9, y_1^{10}, y_7^{11}, y_7^{12}$ відповідає технології формозмінювання із застосуванням вакууму. Метод широко використовують на станціях технічного обслуговування. Однак такий спосіб суто кустарний і вимагає подальшого розвитку зі створенням спеціалізованого, багатофункціонального інструменту.

Крім того, цей варіант найбільш ефективно використовувати при рихтуванні облицювальних деталей легкових автомобілів після пошкодження градом.

Вибір найбільш ефективних технологій (технічних рішень) можливий унаслідок виключенню найгірших комбінацій та елементів. Необхідний також облік законів розвитку технічних систем, а в даному випадку і законів механіки та логічного деформування. В останньому випадку проводять оцінювання граничних можливостей

процесів та їх економічної ефективності подано в таблиці 1.

Коротку узагальнену технічну інформацію (з урахуванням вітчизняних і закордонних чинників) імпульсних методів рихтування та формозміни облицювальних деталей транспортних засобів подано в таблиці 2.

У цій таблиці показані технологічні можливості методів деформування.

Подальші перспективні дослідження у цьому напрямку пов'язані з розробкою промислового обладнання.

ВИСНОВКИ. Визначено 914 457 варіантів ремонту та відновлення облицювальних деталей транспортних засобів. Визначено та систематизовано технологічні можливості імпульсних методів рихтування облицювальних деталей транспортних засобів. Обґрунтовано доцільність використання вакуумного рихтування після пошкодження облицювальних деталей легкових автомобілів. Систематизовано технологічні засоби відновлення та рихтування облицювальних та кузовних деталей транспортних засобів. Визначено рихтування шляхом узагальнення силових та технологічних параметрів імпульсних методів пластичного деформування.

Таблиця 1 – Морфологічна модель безлічі технологій ремонту кузовних й облицювальних деталей наземного транспорту

Аспекти проблеми	S_i	ВАРІАНТИ РІШЕННЯ y_j^i
Вид наземного транспорту	S_1	y_1^1, y_3^1, y_3^1
Вм'ятини, прогини, опуклості за місцем розташування	S_2	$y_2^2, y_2^2, y_4^2, y_4^2, y_5^2, y_6^2, y_7^2$
Вм'ятини, прогини, опуклості (залежно від форми)	S_3	$y_2^3, y_2^3, y_3^3, y_4^3, y_5^3, y_6^3, y_7^3, y_8^3, y_9^3, y_{10}^3, y_{12}^3, y_{12}^3$
Пошкодження кузовних та облицювальних деталей	S_4	y_1^4, y_2^4, y_3^4
Ремонтопридатність	S_5	y_1^5, y_2^5, y_3^5
З можливістю заміни матеріалу, геометричної форми	S_6	y_1^6, y_2^6
Елементи рельєфу, які виготовляють окремо	S_7	$y_1^7, y_2^7, y_3^7, y_4^7$
Умови ремонту	S_8	y_1^8, y_2^8
Устаткування	S_9	y_2^9, y_2^9, y_3^9
Вид формозмінювального впливу	S_{10}	y_1^{10}, y_2^{10}
Вид деформувального середовища	S_{11}	$y_1^{11}, y_2^{11}, y_3^{11}, y_4^{11}, y_5^{11}, y_6^{11}$
Безштампові методи	S_{12}	$y_1^{12}, y_2^{12}, y_3^{12}, y_4^{12}, y_5^{12}, y_6^{12}$

Таблиця 2 – Узагальнена технічна інформація імпульсних методів рихтування облицювальних деталей транспортних засобів

Найменування		Магнітно-імпульсне устаткування (MIU)	Вакуумне рихтування	Перегріте парово рихтування	Комбіновані
Характеристика чинника енергії	Чинник енергії	Магнітне поле (М)	Вакуум (В)	Перегріта пара (ПП)	В+ПП МП+В
	Спосіб вивільнення енергії	Зміна магнітного поля	Переміщення бойка (ПБ), атмосферний тиск (АТ)	Розширення (Р)	ПБ+Р
	Довготривалість імпульсу (с)	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-2}$	10^{-3}	–
	Швидкість хвилі тиску або інструменту (мс ⁻¹)	3000–6000	15–30	20–50	–
	Середовище, що передає	Повітря, магнітне поле	Розділовий поршень + рідина, гель	Розділовий поршень + еластомір	–
Технологічні характеристики	Обладнання	Магнітно-імпульсні установки	Вакуумні установки	Модернізовані пресгармати	–
	Максимальні габарити поверхні, що пошкоджена (м)	Досягнутий 0,3 Перспективний 0,8	0,3	0,3	–
	Розрахована робота деформації (кДж)	До 120	До 10	До 10	В+ПП 15÷18
	Максимальний тиск на нерухомій перешкоді (МПа)	–	10	10^2	–

ЛІТЕРАТУРА

- Гнатов А. В. Бесконтактная внешняя магнитно-импульсная рихтовка автомобильных кузовов. *Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт: збірник наукових праць*, 2012. Вип. 134. С. 131–134.
- Гнатов А. В., Трунова И. С., Шиндерук С. А. Экспериментальные исследования коэффициента передачи энергии в зависимости от индуктивной нагрузки в согласующем устройстве дискового типа. *Автомобильный транспорт*. 2012. № 31. С. 159–167.
- Гнатов А. В., Аргун Ш. В., Трунова И. С., Шиндерук С. А. Бесконтактные магнитно-импульсные технологии для рихтовки кузовов транспортных средств: материалы пятой международной научно-практической конференции, под редакцией О. Н. Ларина, Ю. В. Рождественского. Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2013. 313 с.
- Гнатов А. В., Батыгин Ю. В., Чаплыгин Е. А. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Магнитно-импульсные технологии бесконтактной рихтовки кузовных элементов автомобиля. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 242 с.
- Гнатов А. В. Прогрессивные магнитно-импульсные технологии на транспорте. *Науковий вісник*. 2011. № 1. С. 147–156.
- Batygin Yuri V., Golovashchenko Sergey F., Gnatov Andrey V. Pulsed electromagnetic attraction of

sheet metals – Fundamentals and perspective applications. *Journal of Materials Processing Technology, Elsevier*. 2013. № 213 (3). P. 444–452.

- Батыгин Ю. В., Гнатов А. В., Трунова И. С. Магнитно-импульсные технологии для восстановления корпусных элементов транспортных средств. Часть 1. Актуальность и перспективность направления МИОМ. Пути решения. *Науковий вісник ХДМА*. 2013. № 1. С. 104–111.

- Гнатов А. В. Внешняя бесконтактная рихтовка кузовных панелей автомобилей. *Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт : зб. наук. пр.* 2013. Вип. 142. С. 61–64.

- Гнатов А. В. Бесконтактне магнітно-імпульсне рихтування автомобільних кузовів. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2010. № 2. С. 164–171.

- Гнатов А. В. Прогрессивные магнитно-импульсные технологии на транспорте. Третья Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології на транспорті» MINTT. 2011. Херсон : ХДМІ. 2011. С. 232–239.

- Лотоус В. В., Чебенко Ю. Н., Драгобецкий В. В. Эвристические приемы поиска технических решений упрочнения деталей горного оборудования. Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції «Розробка, використання та екологічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин» : матер. конференції, 04–09 лютого 2013 р. Кременчук-Свялява. 2013. С. 31–33.

A MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF REPAIR TECHNOLOGIES FOR BODY AND FACING PARTS OF GROUND TRANSPORT

Ihor Kuziev

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies

Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskyi National Univesity, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, igor-kuzev@ukr.net;

ORCID: 0000-0002-3403-7069

Volodymyr Drahobetskyi

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Head of the Department “Mechanical Engineering Technologies”

Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskyi National Univesity, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, vldrag@kdu.edu.ua;

ORCID: 0000-0001-9637-3079

Sergii Shlyk

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at Mechanical Engineering Technology Department

Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskyi National Univesity, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, svshlyk@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-9422-1637

Dmytro Moloshtan

Candidate of Technical Sciences,

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies

Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskyi National Univesity, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, moloshtandima@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-8881-8541

Purpose. When using the method of a morphological analysis a systematization, review, analysis of all possible methods for solving a complex multifaceted problem was carried out the purpose of which is to determine the technologies for eliminating the damage to the facing parts of vehicles.

Methodology. The solution of the set goal is carried out by using heuristic the methods of the scientific and technical forecasting, a comprehensive assessment of the information funds of the patent and scientific and technical information, system analysis, a classification method and methods of the functional relationships. The fund of physical and technical effects and the laws of the plastic deformation was further developed by the principles of the force action of the vacuum and self-made shaping. A classification of facing and body parts of vehicles according to two defining components of these parts has provided.

Findings. The Rational technologies for renewal and straightening of sheet facing parts of vehicles have been determined. The classification of dents and damage to sheet parts of passenger cars has been supplemented. The expediency of straightening (eliminating) dents of the valuable modes of transport, carrying out freight transportation, etc. has been substantiated.

Originality. More than 900.000 variants of repair and restoration of facing parts of vehicles have been determined. The originality technological possibilities of the impulse methods of straightening of facing parts of vehicles have been defined and systematized. The expediency of using the vacuum straightening after the damage to the facing parts of cars has been substantiated.

Partical value. The technological means of restoration and straightening of facing and body parts of vehicles have been systematized. The area of the rational application of the vacuum straightening by generalizing the power and technological parameters of the pulsed methods of the plastic deformation has been determined.

Key words: repair of details, transport, target function, weights, model, straightening (removal) of dents, restoration.

REFERENCES

1. Gnatov, A. Contactless external magnetic pulse straightening of car bodies. *Bulletin of SevNTU. Series: Mechanical Engineering and Transport : Coll. Science. etc.* 2012. Issue 134. Pp. 131–134.
2. Gnatov, A., Trunova, I., Shinderuk, S. Experimental studies of the energy transfer coefficient depending on the inductive load in a disk-type matching device. *Road transport.* 2012. № 31. S. 159–167.
3. Gnatov, A., Argun Shch., V., Trunova, I., Shinderuk, S. Contactless magnetic-pulse technologies for straightening vehicle bodies: materials of the fifth international scientific-practical conference, edited by O. Larina, Y. Rozhdestvensky. Chelyabinsk : Publishing Center of SUSU, 2013. 313 p.
4. Gnatov, A., Batygin, Y., Chaplygin, E Pulsed magnetic fields for advanced technologies. Magnetic-pulse technologies of non-contact straightening of car body elements. *LAP LAMBERT Academic Publishing*, 2012. 242 p.
5. Gnatov, A. Progressive magnetic-pulse technologies in transport. *Scientific Bulletin.* 2011. № 1. S. 147–156.
6. Batygin, V., Golovashchenko, S., Gnatov, A. Pulsed electromagnetic attraction of sheet metals – Fundamentals and perspective applications. *Journal of Materials Processing Technology, Elsevier.* 2013. № 213 (3). P. 444–452.
7. Batygin, Y., Gnatov, A., Trunova, I. Magnetic-pulse technologies for the restoration of vehicle body elements. Part 1. Relevance and prospects of MIOM. *Ways to solve. Scientific Bulletin of the CDMA.* 2013. № 1. S. 104–111.
8. Gnatov, A. External non-contact straightening of car body panels. *Bulletin of SevNTU. Series: Mechanical Engineering and Transport : Coll. Science. etc.* 2013. Issue 142. S. 61–64.
9. Gnatov, A. Contactless magnetic-pulse straightening of car bodies. *Bulletin of Ternopil State Technical University.* 2010. № 2. S. 164–171.
10. Gnatov, A. Progressive magnetic-pulse technologies in transport. *Third International Scientific and Practical Conference “Modern Information Technologies in Transport” MINTT.* 2011. Kherson : HDMI, 2011. S. 232–239.
11. Lotous, V., Chebenko, Y., Dragobetsky, V. Heuristic methods of finding technical solutions for hardening parts of mining equipment. *Proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference “Development, use and environmental safety of modern granular and emulsion explosives”* : mater. conference, February 4–09, 2013. Kremenchuk – Svalyava. 2013. S. 31–33.

Стаття надійшла 18.03.2022

ТЕРМОДИНАМІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИКЛУ ТЕПЛООВОГО НАСОСА «ГРУНТ-ВОДА» ДЛЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ

Микола Босий

старший викладач кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва

Центральноукраїнський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, Україна, 25031, bosiymv@ukr.net;

ORCID: 0000-0002-3090-0427

Володимир Кропівний

кандидат технічних наук, професор,

професор кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва

Центральноукраїнський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, Україна, 25031;

ORCID: 0000-0002-3047-3760

Олександр Кузик

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва

Центральноукраїнський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, Україна, 25031, kuzykov1985@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5313-0226

У статті проведено термодинамічний аналіз ефективності використання перспективних теплонасосних технологій для системи опалення приміщень при використанні різних природних джерел теплової енергії. Підвищення ефективності теплового насоса (ТН) залежить від досконалості циклу роботи ТН та вибору робочого тіла холодильного агента (ХА). Наведено принципову схему ТН «грунт-вода» для системи опалення приміщення. Приведено цикл роботи ТН «грунт-вода» в p - h -діаграмі. Представлено результати розрахунку показників ефективності роботи ТН з використанням природного джерела теплоти ґрунту. Показано ефективність роботи ТН, який реалізує зворотний термодинамічний цикл Карно з використанням низькопотенційного джерела теплоти ґрунту. Цей цикл супроводжується мінімальними втратами при дроселюванні рідкого ХА і вирішує проблему корисного тепловикористання для підвищення температури теплоносія, який нагрівається для системи опалення. Виконано енергетичний і ексергетичний аналізи показників ефективності ТН, робочим тілом якого є R134a. Енергетичну ефективність циклу ТН «грунт-вода» оцінювали коефіцієнтом трансформації ТН (COP), який за розрахунками дорівнює 4,8. Термодинамічну ефективність ТН «грунт-вода» в системах опалення розглядали за допомогою ексергетичного ККД, він становить 56 %.

Ключові слова: тепловий насос, низькопотенційне джерело теплоти, коефіцієнт трансформації теплового насоса, система опалення, термодинамічна ефективність.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Нині застосування теплових насосів (ТН) – це альтернатива традиційним теплоенергетичним установкам. Теплонасосні технології є одним із ефективних енергозберігаючих способів, що дає можливість в системах теплопостачання економити паливно-енергетичні ресурси, знижувати забруднення довкілля, задовольняти потреби споживачів у виробництві технологічної теплоти [1–4; 6; 7].

ТН, які використовують поновлювальні природні джерела теплоти та низькотемпературні вторинні енергоресурси для перетворення їх в теплоту, широко застосовуються в багатьох сферах економіки і побуту [2; 3; 5–7].

Актуальність застосування теплонасосних технологій в різних сферах економіки та їх переваги при виробництві теплоти обговорюються на міжнародних конференціях, а також висвітлюються в наукових виданнях [7–9; 10–17].

Теплонасосна технологія отримання теплоти завдяки високій енергетичній ефективності дозволяє зменшити затрати вартісних традиційних органічних видів палива (твердих, рідких, газоподібних), знизити забруднення довкілля і вирішити актуальні сучасні проблеми теплопостачання [4–6; 7].

Тому, використання ТН для систем опалення, гарячого водопостачання є альтернативою тра-

диційним способам, таким як централізоване водяне опалення, електрообігрів. Можливість використання зворотнього термодинамічного циклу Карно в опалювальних і охолоджувальних пристроях була відкрита достатньо давно, а в наш час ТН отримав широке розповсюдження [1; 3–9].

ТН перетворює низько-потенційну природну теплову енергію, або теплоту вторинних низькотемпературних енергоресурсів в енергію більш високого температурного потенціалу для її практичного використання в системах теплопостачання. Перетворення цих енергій відбувається в зворотньому термодинамічному циклі Карно і перенос енергії з нижнього температурного рівня на більш високий виконується за рахунок механічної (електричної) енергії, яка з зовні підводиться до компресора ТН [1–4; 7].

Джерелами низькопотенційної теплоти для застосування в ТН є атмосферне повітря, вода природних водойм, ґрунт, ґрунтові води, а також джерела теплоти, систем охолодження різноманітного технічного обладнання або технологічних процесів, теплота відпрацьованого повітря систем вентиляції [1–4; 8].

При застосуванні теплонасосної технології ефективно знижується споживання електроенергії. ТН пропонують промисловим і комерційним споживачам електроенергії значні можливості для зниження витрат, пов'язаних з підігрівом води [9].

Для визначення ефективності роботи ТН необхідно враховувати різні режими протягом опалювального періоду і тривалість температур. Тобто, наприклад, за температури повітря 7 °С повітряні ТН можуть мати коефіцієнт перетворення, що дорівнює 5, а тривалість таких температурних періодів досить висока протягом року. Допоміжні джерела, наприклад, ТЕНи є невід'ємною частиною систем з повітряними ТН. При використанні ТН типу «повітря-вода» з вбудованими ТЕНами середньорічний коефіцієнт перетворення становить 2,5 [10]. Вибір регіону, що підходить для впровадження повітряних ТН, повинен проводитися з урахуванням не тільки розрахункових мінімальних температур, а й всіх інших кліматичних показників, таких як середня річна температура, діапазон температурних коливань [10].

В Норвегії, США і Канаді з суворим кліматом перевага надається ґрунтовим ТН та з появою низькотемпературних спліт-систем, що мають нижню межу експлуатації на обігрів до –20 °С, відзначається попит на такий тип ТН [11].

Природні джерела теплоти, такі як вода, або ґрунт мають переваги у порівнянні з повітрям.

Ґрунт – це найбільш універсальне джерело розсіяної теплоти. Він акумулює сонячну енергію цілий рік. На глибині 7 м температура практично постійна протягом року. Для більшої частини території України вона становить 8...12 °С. Ґрунт досить надійно постачає природну поновлювальну низькопотенційну енергію для ТН. Необхідна енергія збирається ґрунтовим теплообмінником, заглибленим у землю, і акумулюється в теплоносії, який потім подається у випарник ТН і повертається назад за новою порцією теплоти. В якості теплоносія використовується незамерзаюча, екологічно безпечна рідина (розсіл або антифриз). У більшості ТН «ґрунт-вода» використовується розчин води і пропіленгліколю або етиленгліколю. ТН «розсіл-вода» дуже ефективні і досягають показників ефективності COP до 5 [2–4; 7].

Тому, ТН «ґрунт-вода» з розсолом є найбільш поширеним у світі. У цих геотермальних ТН використовується два види теплообмінників: ґрунтовий колектор і ґрунтовий зонд. Вони виготовляються з поліетиленових труб діаметром до 40 мм з добавками теплопровідного пластифікатора. Ґрунтовий колектор (горизонтальний) являє собою довгу трубу, горизонтально вкладену під шаром ґрунту.

ТН доцільно використовувати в системах теплопостачання, вони показали свою ефективність завдяки передачі споживачеві в 3–5 разів більше енергії, ніж витрачають на її передачу. Крім того, в ТН використовуються екологічно чисті технології практично без викидів шкідливих речовин в довкілля [2–4; 6–8].

Отже, метою даної статті є термодинамічне дослідження ефективності впровадження ТН в системі опалення приміщення при використанні теплоти ґрунту.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. ТН – це пристрій з високою енергетичною ефективністю, екологічною чистотою і повною автоматизацією процесу експлуатації, що обумовлює абсолютну заміну традиційних способів виробництва теплоти та вказує на доцільність застосування в системах теплопостачання теплонасосної технології [7; 12; 13]. ТН можуть також застосовуватися в комбінації з іншими нетрадиційними джерелами теплоти, такими як сонячні водонагрівачі, біоенергетичні установки, установки з переробки і спалювання твердих побутових відходів.

Найбільшого поширення набули парокompресійні ТН, у яких в якості робочого агента, використовуються холодильні агенти. Схема парокompресійного ТН наведена на рис. 1.

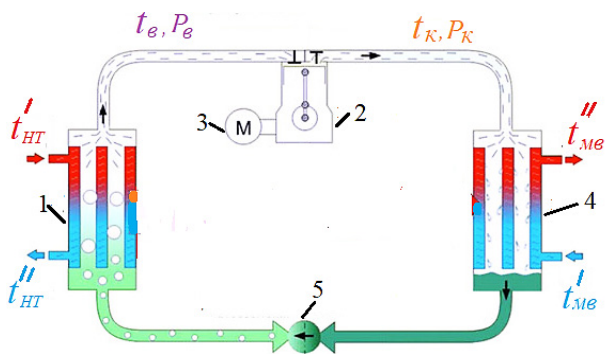


Рисунок 1 – Схема парокompресійного ТН
1 – випарник; 2 – компресор; 3 – електродвигун;
4 – конденсатор; 5 – дросель

У випарнику 1 при постійному тиску P_B і температурі T_B здійснюється випаровування холодильного агента при підведенні теплоти від низькопотенційного джерела теплоти (рис. 1). Підігрів насичених парів холодильного агента при тиску P_B відбувається теплотою гарячого рідкого холодильного агента до стану перегрітої пари. Перегріта пара з температурою T_{HT} надходить на вхід компресора 2, в якому вона стискається до кінцевого тиску P_K з підвищенням температури до T_K . Стиснений пар з параметрами перегрітої пари надходить в конденсатор 4, де спочатку відбувається його охолодження із стану перегрітої пари до стану насичення, а потім конденсація при постійному тиску P_K і температурі T_K . З конденсатора 4 конденсат холодильного агента поступає в дросельний клапан 5, в якому здійснюється процес дроселювання холодильного агента від тиску P_K до тиску P_B зі зниженням його температури в процесі ізоентальпійного розширення з T_K до температури T_B у випарнику 1. І знову термодинамічний процес повторюється [2–4; 8].

В процесі реалізації термодинамічного циклу до холодильного агента у випарнику 1 підводиться теплова енергія від тепловіддавача теплоти ґрунту з охолодженням його теплоносія з температури T'_{HT} до T''_{HT} . Електродвигуном 3 в компресорі 2 підводиться механічна енергія в процесі стискування холодильного агента. При цьому ми не конкретизуємо з якого вихідного виду енергії (електрична, теплова та ін.) отримана механічна енергія на валу компресора 4. Відведення корисної теплоти до зовнішнього споживача здійснюється в конденсаторі 4 при

нагріванні теплоносія зовнішнього теплоприймача мережевої води (МВ) з температури T'_{MB} до T''_{MB} . При використанні парокompресійного ТН в системах тепlopостачання споживачами теплової енергії є системи опалення (СО) і гарячого водопостачання (ГВП). Для опалення використовується теплота, що виділяється в конденсаторі 4 ТН [2–4].

Для термодинамічного розрахунку циклу ТН «ґрунт-вода» наведемо принципову схему, яка представлена на рис. 2. ТН «ґрунт-вода» призначений для забезпечення споживачів екологічно чистим теплом для потреб опалення з використанням низькопотенційної теплоти ґрунту $+5...+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. При застосуванні ТН «ґрунт-вода» можна отримати теплоносії системи опалення з температурою $55...75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

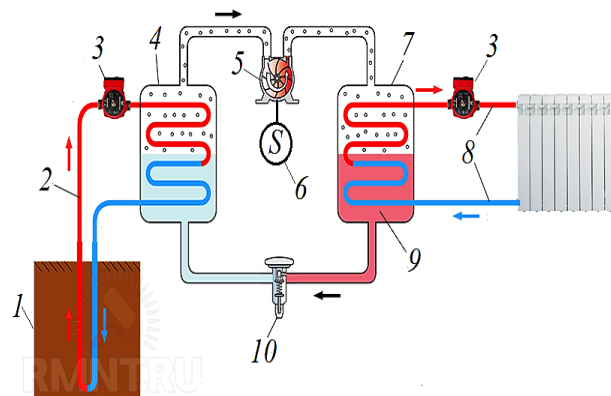


Рисунок 2 – Принципова схема ТН «ґрунт-вода»
1 – ґрунт; 2 – розсіл; 3 – насос; 4 – випарник;
5 – компресор; 6 – електродвигун; 7 – конденсатор; 8 – система опалення;
9 – холодоагент R134a; 10 – дросель

Для ТН «ґрунт-вода» вибираємо озонобезпечний холодоагент R134a, який має широке застосування. Для низькопотенційного теплоносія теплоти ґрунту приймаємо $T'_{HT} = 281\text{ K}$ ($+10\text{ }^{\circ}\text{C}$), $T''_{HT} = 279\text{ K}$ ($+6\text{ }^{\circ}\text{C}$), а для теплоносія системи опалення $T'_{MB} = 338\text{ K}$ ($+67\text{ }^{\circ}\text{C}$). Приймаємо кінцеві різниці температур на виході з теплообмінних апаратів: у випарнику $\Delta T_B = T'_{HT} - T_B = 3\text{ K}$, а в конденсаторі $\Delta T_K = T_K - T'_{MB} = 5\text{ K}$ [2–4; 15; 17].

Термодинамічний розрахунок циклу ТН «ґрунт-вода» наступний [2–4; 15].

Температура насиченої пари R134a на виході з випарника [17]

$$T_B = T'_{HT} - \Delta T_B. \quad (1)$$

Температура конденсації R134a в конденсаторі [17]

$$T_K = T'_{MB} + \Delta T_K. \quad (2)$$

Ступінь стиснення R134a в компресорі

$$\varepsilon = P_K / P_B, \quad (3)$$

де $P_K = 2,2$ МПа, $P_B = 0,35$ МПа – тиск конденсації і випаровування R134a при температурах T_K і T_B .

Теплові навантаження в ТН «грунт-вода» представлені на $p-h$ діаграмі (рис. 3), де вони наведені у вигляді відповідних відрізків прямих ліній, що відображають основні термодинамічні процеси.

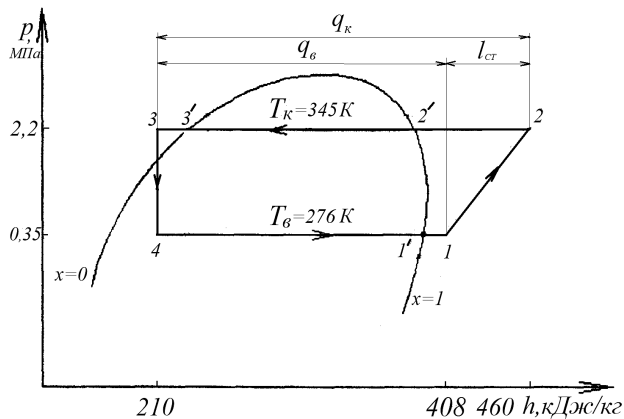


Рисунок 3 – Цикл ТН «грунт-вода» в $p-h$ -діаграмі

Енергетичну ефективність ТН «грунт-вода» оцінюємо за допомогою $p-h$ діаграми (рис. 3).

Питома робота стиснення в компресорі

$$l_{ct} = h_2 - h_1. \quad (6)$$

Питома теплова потужність конденсатора

$$q_k = h_2 - h_3. \quad (7)$$

Питоме теплове навантаження випарника

$$q_b = h_1 - h_4. \quad (8)$$

Правильність розрахунку визначається перевіркою теплового балансу

$$l_{ct} + q_b = q_k. \quad (9)$$

Питома витрата первинної енергії (електроенергії) ТН на одиницю виробленої теплоти

$$e_{TH} = l_{ct} / q_k. \quad (10)$$

Питома енергія, яка споживається електродвигуном

$$w = l_{ct} / \eta_{e.m.} \cdot \eta_e, \quad (11)$$

де $\eta_{e.m.} = 0,95$ – електромеханічний ККД компресора, $\eta_e = 0,85$ – ККД електродвигуна [4].

Коефіцієнт трансформації теплоти ТН

$$COP = q_{TH} / l_{ct}. \quad (12)$$

Також можна визначати коефіцієнт трансформації теплоти ТН іншим методом, наприклад,

$$COP = COP_T \cdot \eta_{TH}, \quad (13)$$

де η_{TH} – коефіцієнт, який враховує реальні процеси, що здійснюються робочим тілом у ТН, який згідно з рядом джерел теплоти змінюється в діапазоні 0,6...0,8 (приймаємо $\eta_{TH} = 0,6$) [15]; COP_T – теоретичний коефіцієнт трансформації ТН.

Коефіцієнт трансформації теплоти ідеального циклу Карно COP_T з урахуванням теплових необоротностей у випарнику та конденсаторі ТН визначається за співвідношенням

$$COP_T = T_K / (T_K - T_B), \quad (14)$$

де T_B – абсолютна температура випаровування R134a у випарнику ТН, К; T_K – абсолютна температура конденсації R134a в конденсаторі ТН, К.

Ексергетичний розрахунок ТН «грунт-вода» виконаний на основі визначення ексергій при роботі ТН та ексергетичного балансу підведеної і відведеної ексергії в кожному елементі обладнання ТН «грунт-вода» [13–17].

Ексергетичний ККД ТН «грунт-вода» показує ступінь термодинамічної досконалості ТН і розраховується, як відношення відведеної від ТН ексергії до підведеної ексергії [7; 13–17]

$$\eta_{ex} = e_{вд.} / e_{під.}, \quad (15)$$

де $e_{вд.} = e_b$ – відведена від ТН ексергія; $e_{під.} = e_n + e_c$ – сума підведеної до ТН ексергії; e_b – питома ексергія, відведена середовищем, яке нагрівається від конденсатора ТН; e_n – питома ексергія, підведена до випарника низькопотенційного джерела теплоти; e_c – питома ексергія електричної енергії, підведеної до компресора на привід.

Ексергія отримана високопотенційним джерелом у конденсаторі

$$e_b = \tau_b q_k, \quad (16)$$

де τ_b – ексергетична температура високопотенційного теплоносія

$$\tau_b = \frac{T_{ср.мв.} - (t_{н.с.} + 273)}{T_{ср.мв.}}. \quad (17)$$

Середня логарифмічна температура гарячого теплоносія

$$T_{ср.мв.} = \frac{t_{MB}'' - t_{MB}'}{\ln \frac{t_{MB}'' + 273}{t_{MB}' + 273}}. \quad (18)$$

Ексергія віддана низькопотенційним теплоносієм у випарнику

$$e_n = \tau_n q_b, \quad (19)$$

де τ_n – ексергетична температура низькопотенційного теплоносія

$$\tau_n = \frac{T_{\text{ср.нт.}} - (t_{\text{н.с.}} + 273)}{T_{\text{ср.нт.}}}, \quad (20)$$

де $t_{\text{н.с.}}$ – температура навколишнього середовища

Середня логарифмічна температура низькопотенційного теплоносія

$$T_{\text{ср.нт.}} = \frac{t'_{\text{нт.}} - t''_{\text{нт.}}}{\ln \frac{t'_{\text{нт.}} + 273}{t''_{\text{нт.}} - 273}}. \quad (21)$$

Ексергія електроенергії, що витрачається на привід компресора

$$e_e = w = \frac{l_{\text{ст}}}{\eta_{\text{е.м.}} \eta_e}. \quad (22)$$

Результати проведеного вище термодинамічного розрахунку циклу ТН «грунт-вода» представлені в табл. 1.

Виконаний вище термодинамічний аналіз енергетичних і ексергетичних втрат дає загальне уявлення про термодинамічну ефективність циклу ТН «грунт-вода», на підставі якого можна

зробити висновок про внесок того, чи іншого елемента ТН «грунт-вода» в ефективність перетворення потоків енергії.

Для прийняття практичних рішень щодо зменшення ексергетичних втрат в елементах ТН «грунт-вода» в цілому необхідно мати інформацію про власні і технічні втрати ексергії в кожному з елементів. Втрати ексергії нерозривно пов'язані з фізичною природою конкретного термодинамічного процесу. Наприклад, власними є дросельні втрати, а також втрати, зумовлені нагріванням робочого тіла від гарячих поверхонь клапанів і стінок циліндра поршневого компресора. До технічних втрат в ТН «грунт-вода» можна, наприклад, віднести втрати ексергії, пов'язані з теплообміном при кінцевих різницях температур, гідравлічні, через теплоізоляцію, пов'язані з наявністю мертвого простору і нещільністю в циліндрах компресора.

Таблиця 1 – Термодинамічний розрахунок циклу ТН «грунт-вода»

Параметр	Розмірність	Формула рисунок	Розрахункові значення
1	2	3	4
Температура випаровування агента R134a, T_v	К	(1)	276
Ентальпія агента R134a після випарника, h_1	кДж/кг	Рис. 2	408
Тиск агента R134a у випарник, P_v	МПа	Рис. 2	0,35
Температура конденсації агента R134a, T_k	К	(2)	345
Ентальпія агента R134a після конденсатора, h_3	кДж/кг	Рис. 2	210
Тиск конденсації агента R134a, P_k	МПа	Рис. 2	2,2
Ентальпія агента R134a на вході в компресор, h_1	кДж/кг	Рис. 2	408
Ентальпія агента R134a після компресора, h_2	кДж/кг	Рис. 2	460
Ентальпія агента R134a перед випарником, h_4	кДж/кг	Рис. 2	210
Питоме теплове навантаження випарника, q_v	кДж/кг	(7)	198
Питоме теплове навантаження конденсатора, (теплого насоса), $q_k = (q_{\text{тн}})$	кДж/кг	(8)	250
Питома робота стиснення в компресорі, $l_{\text{ст}}$	кДж/кг	(6)	52
Питома енергія, яка споживається електродвигуном, w	кДж/кг	(11)	68,4
Перевірка теплового балансу	–	(9)	250
Коефіцієнт стиснення, ε	–	(3)	6,28
Коефіцієнт перетворення теплоти ТН, COP	–	(12)	4,8
COP	–	(13)	3,0
COP _т	–	(14)	5,0
Питома витрата первинної енергії, $e_{\text{тн}}$	кДж/кг	(10)	0,21
Середня температура низькопотенційного теплоносія, $T_{\text{ср.нт.}}$	К	(21)	279
Ексергетична температура низькопотенційного теплоносія, t_n	–	(20)	0,057
Ексергія, віддана низькопотенційним теплоносієм, e_n	кДж/кг	(19)	11,3
Середня температура високопотенційного теплоносія в конденсаторі, $T_{\text{ср.в.}}$	К	(18)	322
Ексергетична температура високопотенційного теплоносія в конденсаторі, t_v	–	(17)	0,18
Ексергія, одержана високопотенційним теплоносієм в конденсаторі, e_v	кДж/кг	(16)	45
Ексергія споживаної електроенергії, e_e	кДж/кг	(22)	68,4
Ексергетичний ККД ТН, η_{ex}	–	(15)	0,56

Тому, необхідно продовжити дослідження в цьому напрямку, прийнявши за основу розглянутий вище приклад термодинамічного розрахунку для ТН «грунт-вода», який працює на холодильному агенті R134a.

ВИСНОВКИ. 1. Термодинамічне дослідження ефективності застосування ТН «грунт-вода» для системи опалення приміщення виконувалось при використанні низькопотенційного джерела теплової енергії ґрунту.

2. За допомогою коефіцієнта перетворення COP ТН оцінювали енергетичну ефективність ТН «грунт-вода», робочим тілом якого є холодильний агент R134a, за розрахунками він дорівнює 4,8.

3. Методом ексергетичного аналізу розраховано термодинамічну ефективність процесів перетворення енергії, що відбуваються в ТН «грунт-вода» за допомогою ексергетичного ККД, він становить 56 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Драганов Б. Х., Долінський А. А., Міщенко А. В. Теплотехніка: Підручник. Київ : «ІНКОС», 2005. 504 с.
2. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 123 с.
3. Арсеньев В. М., Мелейчук С. С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник. Суми : СДУ, 2018. 364 с.
4. Арсеньев В. М. Теплонасосная технология энергосбережения. Суми : Вид-во СДУ, 2009. 251 с.
5. Маляренко В. А. Енергетичні установки. Загальний курс. Навчальний посібник. Х. : «Видавництво САГА». 2008. 320 с.
6. Маляренко В. А., Лисак Л. В. Енергетика, довідка, енергосбереження. Х. : Рубікон, 2004. 368 с.
7. Безродний М. К., Пуховий І. І., Кутра Д. С. Теплові насоси та їх використання : навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 312 с.
8. Босий М. В., Кузик О. В. Ефективність циклу теплового насоса для теплопостачання // *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2020. Вип. 3 (34). С. 136–142.
9. Степаненко В. А. Тепловые насосы: потенциал для снижения потребления электроэнергии в основных секторах экономики // *Тепловые насосы*. 2015. № 3. С. 44–47.
10. Конеченков А. М., Опухова П. Д. Об условиях, которые определяют экономическую эффективность использования тепловых насосов в Украине. *Терминал*. 2016. № 13. С. 18–29.
11. Мацевитый Ю. М., Чиркин Н. Б., Клепанда А. С. Об использовании тепловых насосов в мире и что тормозит их широкомасштабное внедрение в Украине. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. № 2 (120). 2014. С. 2–14.
12. Кунденко М. П., Шинкаренко І. М., Каліберда Є. А. Аналіз ефективності застосування теплових насосів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства // Проблеми енергозабезпечення та енергосбереження в АПК України*. 2018. Вип. 196. С. 98–99.
13. Босий М. В., Кузик О. В. (2022). Теплові насоси для опалення та гарячого водопостачання. Findings of modern engineering research and developments : Scientific monograph. Riga, Latvia : "Baltija Publishing". Р. 24–40.
14. Морозюк Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. Одесса : Студия «Негоциант», 2006. 712 с.
15. Ткаченко С. Й., Остапенко О. П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання : монографія. Вінниця : ВНТУ. 2009. 176 с.
16. Арсеньев В. М., Гречаненко В. А. Эксергетическая оценка эффективности теплонасосной технологии энергосбережений. *Вісник Сумського державного університету*. 2002. № 9 (42). С. 81–85.
17. Куделя П. П., Соломаха А. С., Очеретянко М. Д. Оцінка ефективності опалювальних теплових насосів з використанням методу циклів. *Відновлювальна енергетика*. 2016. № 4. С. 74–85.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE HEAT PUMP CYCLE FOR THE SPACE HEATING SYSTEM

Mykola Bosiy

Senior Lecturer at the Department of Materials Science and Foundry Production

Central Ukrainian National Technical University, 8 Universitetskyi Avenue, Ukraine, 25031, bosiy@ukr.net;

ORCID: 0000-0002-3090-0427

Volodymyr Kropivny

Candidate of Technical Sciences, Professor,

Professor at the Department of Materials Science and Foundry Production

Central Ukrainian National Technical University, 8 Universitetskyi Avenue, Ukraine, 25031;

ORCID: 0000-0002-3047-3760

Oleksandr Kuzyk

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Materials Science and Foundry Production

Central Ukrainian National Technical University, 8 Universitetskyi Avenue, Ukraine, 25031, kuzykov1985@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5313-0226

Purpose. The article presents a thermodynamic analysis of the efficiency of the use of advanced heat pump technologies for the space heating system using a variety of natural sources of thermal energy, especially soil heat.

Methodology. Improving the efficiency of the heat pump (HP) depends on the perfection of the cycle of the HP, and the choice of the working fluid of the refrigerant (HA). The schematic diagram of TN “ground-water” for the space heating system is given. The cycle of work of TN “soil-water” in the p-h-diagram is resulted. Results. The results of comparative calculation of efficiency indicators of steam compression heat pump (TN) using natural soil heat sources are given. The results of calculation of indicators of efficiency of work of the steam compression heat pump (TN) with use of natural sources of heat of soil are resulted. This cycle is accompanied by minimal losses during the throttling of liquid refrigerant and solves the problem of useful heat use to increase the temperature of the coolant that is heated for the heating system. Energy and exergy analysis of TN efficiency indicators, the working fluid of which is R134a freon, was performed. TN “soil-water” was evaluated by the transformation coefficient of TN (COP). The thermodynamic efficiency of groundwater water in heating systems was determined using exergetic efficiency.

Originality. Thermodynamic study of the effectiveness of the application of TN “soil-water” for the space heating system was performed using a low-potential source of thermal energy of the soil. **Practical value.** Using the conversion factor COP TH evaluated the energy efficiency of TN “soil-water”, the working fluid of which is the refrigerant R134a, which is calculated to be 4.8. The method of exergetic analysis performed the thermodynamic efficiency of energy conversion processes occurring in TN “soil-water” using exergetic efficiency, it is 56 %.

Key words: heat pump, low-potential heat source, heat pump transformation coefficient, heating system, thermodynamic efficiency.

REFERENCES

1. Drahanov, B. H., Dolinsky, A. A., Mishchenko, A. V. (2005). *Teplotekhnika [Written Heat Engineering] : Pidruchnyk*. Kyiv : “INKOS”. 504 p. [in Ukrainian]
2. Ostapenko, O. P. (2015). *Kholodyl'na tekhnika ta tekhnolohiya. Teplovi nasosy [Refrigeration equipment and technology. Heat pumps] : navchal'nyy posibnyk*. Vinnytsya : VNTU. 123 p. [in Ukrainian]
3. Arsen'yev, V. M., Meleychuk, S. S. (2018). *Teplovi nasosy: osnovy teorii i rozrakhunku [Heat pumps: the basics of the theory and design] : navchal'nyy posibnyk*. Sumy : SDU. 364 p. [in Ukrainian]
4. Arsen'ev, V. M. (2009). *Teplonasosnaya tekhnolohyya enerhozberezhennya [Heat pump technology of energy saving]*. Sumy : Vyd-vo SDU. 251 p. [in Ukrainian]
5. Malyarenko, V. A. (2008). *Enerhetychni ustanovky. Zahal'nyy kurs [Power plants. General course]. Navchal'nyy posibnyk*. Kh. : “Vydavnytstvo SAHA”. 320 p. [in Ukrainian]
6. Malyarenko, V. A., Lysak, L. V. (2004). *Enerhetyka, dovykillya, enerhozbere-zhennya [Energy, environment, energy saving]*. Kh. : Rubikon. 368 p. [in Ukrainian]
7. Bezrodnyy, M. K., Pukhovyy, I. I., Kutra, D. S. (2013). *Teplovi nasosy ta yikh vykorystannya [Heat pumps and their use] : navchal'nyy posibnyk*. Kyiv : NTUU “KPI”. 312 p. [in Ukrainian]
8. Bosyi, M. V., Kuzyk, O. V. (2020). *Efektivnist' tsykladu teplovoho nasosa dlya teplopостachannya [Efficiency of the heat pump cycle for heat supply] // Tsentral'noukrayins'kyi naukovyy visnyk. Tekhnichni nauky*. Vyp. 3 (34). P. 136–142. [in Ukrainian]
9. Stepanenko, V. A. (2015). *Teplovyie nasosy: potentsial dlya snizheniya potrebleniya elektroenergii v osnovnykh sektorakh ekonomiki [Heat pumps: the potential for reducing electricity consumption in the main sectors of the economy] // Teplovyie nasosy*. № 3. P. 44–47. [in Ukrainian]
10. Konechenkov, A. M., Opukhova, P. D. (2016). *Ob usloviyakh, kotoryye predopredelyayut ekonomicheskuyu effektivnost' ispol'zovaniya teplovykh nasosov v Ukraine [On the conditions that predetermine the economic efficiency of using heat pumps in Ukraine] // Terminal*. № 13. P. 18–29. [in Ukrainian]
11. Matsevityy, Yu. M., Chirkin, N. B., Klepanda, A. S. (2014). *Ob ispol'zovanii teplovykh nasosov v mire i chto tormozit ikh shirokomasshtabnoye vnedreniye v Ukraine [On the use of heat pumps in the world and what hinders their large-scale introduction in Ukraine]. Energoberezhniye. Energetika. Energoaudit*. № 2 (120). P. 2–14. [in Ukrainian]
12. Kundenko, M. P., Shynkarenko, I. M., Kaliberda, Y. E. (2018). *Analiz efektyvnosti zastosuvannya teplovykh nasosiv [Analysis of the efficiency of heat pumps]. Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva. Problemy enerhozabezpechennya ta enerhozberezhennya v APK Ukrayiny*. Vyp. 196. P. 98–99. [in Ukrainian]
13. Bosyi, M. V., Kuzik, O. V. (2022). *Heat pumps for scorching and hot water supply // Findings of modern engineering research and developments : Scientific monograph*. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”. P. 24–40. [in Latvia]
14. Morozyuk, T. V. (2006). *Teoriya kholodil'nykh mashin i teplovykh nasosov [Theory of refrigeration*

machines and heat pumps]. Odessa : Studiia "Negotsiant". 712 p. [in Ukrainian]

15. Tkachenko, S. Y., Ostapenko, O. P. (2009). Parokompresiyini teplonasosni ustanovky v systemakh teploposta-channya [Steam compression heat pump installations in heat supply systems] : monohrafiya. Vinnytsya : VNTU. 176 p. [in Ukrainian]

16. Arsen'ev, V. M., Hrechanenko, V. A. (2002). Ékserhetycheskaya otsenka éffektyvnosti teplonasosnoy

tekhnolohyy énerhosberezhenny [Exergetic evaluation of the efficiency of heat pump technology of energy savings]. *Visnyk Sums'koho derzhavnoho universytetu*. № 9 (42). S. 81–85. [in Ukrainian]

17. Kudelya, P. P., Solomakha, A. S., Ocheretyanko, M. D. (2016). Otsinka efektyvnosti opalyval'nykh teplovykh nasosiv z vykorystannyam metodu tsykliv [Evaluation of the efficiency of heating heat pumps using the method of cycles] // *Vidnovlyuval'na enerhetyka*. № 4. P. 74–85. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 21.03.2022

THEORETICAL STUDY OF DAMPING PROPERTIES INFLUENCE OF SPECIAL TOOLHOLDER WITH AN ORIENTED CENTER OF RIGIDITY ON VIBRATION RESISTANCE WHILE TURNING

Serhii Vakulenko

Senior Lecturer at the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, svakulenko@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-1730-0547

The article presents the results of a theoretical study with using a mathematical model of a potentially unstable dynamic system tool holder-carriage-workpiece and the cutting process, at the influence of the tool holder subsystems damping parameters on the relative value of the vibration resistance level. Known ways to increase the vibration resistance of turning is to reduce the negative impact of the "coordinate links" between the elastic displacement of cutter and machined workpiece during cutting process through the use of an additional tool holder with an oriented position of the center of rigidity or a tool holder with increased damping characteristics. It is relevant to study the feasibility of a simultaneous combination of these two directions for increasing vibration resistance in one tool holder design. Based on the results of simulation modeling of the cutting process and evaluation of its constancy according to the Nyquist criteria, it was found that a relative increase in the damping parameter in the design of a tool holder with an oriented center of rigidity leads to a decrease in the relative level of the amplitude of fluctuations in the distance between the cutter and the workpiece and a simultaneous decrease in the vibration resistance of the machining process. Therefore, in the case of high-performance machining at the upper-limiting cutting conditions on a lathe, in order to counteract the occurrence and increase in self-oscillations due to deficiencies in the elastic characteristics of the carriage construction, it is effective to create special vibrations of the cutter directed in a certain way through the use of special toolholders with a subsequent decrease in self-excitation energy. An increase in the damping parameter in construction of such a special tool holder through the use of plastic materials leads to a decrease in the effectiveness of its useful vibrational effect on the cutting process.

Key words: vibration, vibrostability, tool holder, lathe work, the dynamics of machines, center of rigidity.

PROBLEM STATEMENT. The task of increasing the processing productivity of lathes with a given machining accuracy is directly related to the issue of improving the dynamic quality of machine tools, especially their carriage system. The dynamic quality of the machine tools system to a greater extent characterizes the stability of the movements of its working parts during cutting. Insufficiently high dynamic stability worsens the technical and economic performance of the machine tools, it leads to a decrease in the quality of the machined surface and increases the cutting tool wear.

Known studies of the dynamics cutting process confirm the significant influence of the vibration level during processing on the cutting tool stability. The results of experimental studies indicate that with an increase in the amplitude of self-oscillations, the wear of cutting tools increases, and the frequency of oscillations of the dominant machine tools dynamic sub-system also affects tool wear. It was found that vibrations at low frequencies affect wear at relatively large amplitudes, however, with an increase in frequency, the intensity of the destructive effect on

the tool increases. Therefore, when turning parts under special conditions of cutting conditions, when the cutting force is significantly increased, which ensures high productivity, for example, for large machine tools, it is necessary to ensure the conditions for the inadmissibility of self-oscillations during cutting because this leads to a significant decrease in cutter stability and possible undermining of the cutter, deterioration in the quality of the machined surface, as well as increased wear on the machine tools rail.

A difficult and urgent task is to choose the optimum in terms of the dynamic quality of lathe carriage construction. Solving the problem of the dynamic stability of a machine tool during cutting process requires a deep understanding of the essence of dynamic processes during cutting, taking into account the multifactorial dependencies with multilevel correlations of system parameters. Because of this inherent complexity of the dynamic system of research, questions about the dynamics of lathes are generally problematic.

Theoretical and design developments to address the issue of improving the dynamic

quality of a potentially unstable machine tool carriage system during cutting process require the identification and subsequent consideration of the necessary optimal ratios of the elastic system parameters, elastic and dynamic parameters of the dominant dynamic subsystem. An effective solution to increase the vibration resistance of the machining process can be the use of a machine carriage construction structure with a stable optimal orientation of the rigidity axes or using special equipment like the toolholder with an oriented position center of rigidity [1; 2].

Consequently, the productivity and accuracy of the machine tool is largely determined by the quality of the dynamic processes that take place in the “carriage-workpiece” system during cutting. These processes are very complex and not fully understood, but they are not indirectly related to the overall problem of system stability. There is a known method [3] for correcting the dynamic characteristics of a lathe with minimizing the dynamic error during cutting due to a specially introduced elastic element into the elastic system of the machine, implemented in a special design of the cutters. This element redistributes the elastic deformations of the cutter with compensation for processing deviations in the cross section of workpiece.

MATERIAL AND RESULTS. Analyze of the damping parameters influence of tool holder with an oriented center of rigidity on the turning vibration resistance in articles, the structure [4] and differential equations [5] of the developed mathematical model of the dynamic system of the machine tool are given, in which the elastic and dynamic properties of this tool holder are taken into account.

Since high-performance turning with increased cutting forces, for example, at roughing stages of processing, as well as for heavy lathes, is limited by insufficient vibration resistance, therefore, rigidity and geometric accuracy are not a significant factor in the use of such tool holder equipment. Therefore, the use of tool holders with an oriented position of center of rigidity will have the greatest efficiency and economic feasibility for processing parts of especially large diameters (up to 2500 mm) on heavy lathes of models 1A670, 1M665, 1K670F3, 1A665F3, 1K675 in the manufacture of bladed hydraulic turbines.

The vibration resistance increase and productivity of metal-cutting machine tools can be achieved by increasing their rigidity or, with even greater success, by increasing their damping capacity. The damping ability of the tool or tool holder can be

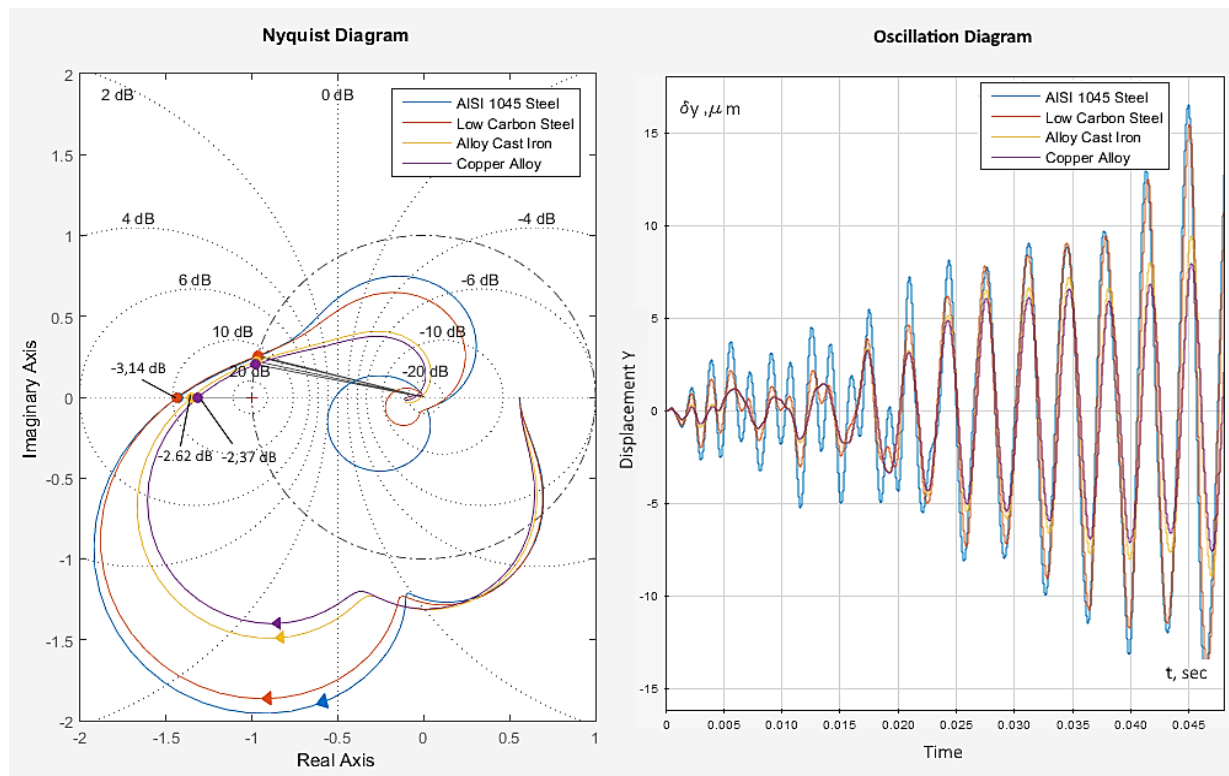


Figure 1 – The Nyquist and Oscillation Diagram of an unstable lathe dynamic system using ordinary tool holder during cutting process

increased by constructive damping, that means, by increasing the resistance at the joints, at the junctions of the cutting tool inserts with the cutting block and the block with the tool holder, as well as active damping, that also knowns as introducing vibration damping devices into the design of special tools or tool holders. One of the options for such cutter designs, where damping resistance at the joints is used, are special “glue fixed cutters”. These cutters consist of a universal holder in which various cutting blocks are mechanically attached (depending on the transition). A hard-alloy plate of cutter is glued into the seat of the cutting block with a special heat-resistant adhesive glue. Heat-resistant adhesives glue VK9, VK20, etc. are used. Vibration damping occurs both in the flat joints of the cutting block with the tool holder, and in the adhesive layer that fills the gaps between the carbide plate and the cutting block over the entire contact surface; at the same time, metal contact between the hard-alloy cutter plate and the block is also possible in separate small areas. Experiment testing and industrial use that glue fixed cutters have shown that such cutters are much more resistant to vibration than standard cutters with soldered inserts and cutters with mechanically fastened hard-alloy plate inserts. Glue builders typically have a self-oscillation amplitude of approximately two to three times less

than mechanically held cutters and standard brazed blade cutters, resulting in a significant increase in tool life.

The theoretical analysis of the influence of damping characteristics of tool holder with an oriented center of rigidity on vibration resistance at a point was carried out using the materials of the publication [5], which shows the structure and system of differential equations of the mathematical model of the dynamic system of a lathe, where taking into account the elastic and dynamic properties of the equipment.

Implementation of a theoretical study by modeling the turning process and determining the indicators of vibration resistance of the movement of the cutter and the part is reduced to solving systems of differential equations through numerical integration. In this case, this is argued by the impossibility of using methods for the analytical solution of systems of differential equations or using root methods for determining the stability of motion. However, carrying out numerical calculations using mathematical packages has a disadvantage, since as a result we obtain only partial solutions. Anyway, the implementation of the simulation allows you to determine the impact in a wide range of changes for the elastic, damping and inertial parameters of the dynamic subsystem of the toolholder on the overall vibration resistance of high-performance machining.

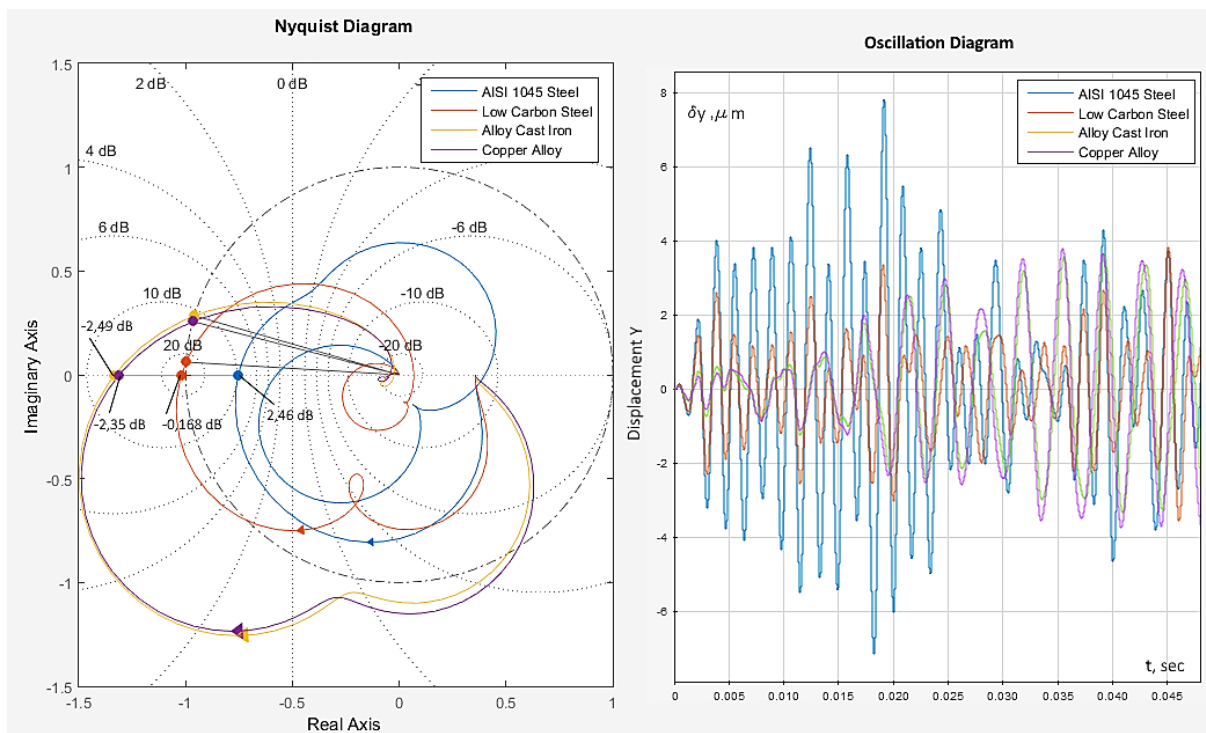


Figure 2 – The Nyquist and Oscillation Diagram of a potentially unstable lathe dynamic system using special tool holder with oriented center of rigidity during cutting process

The elastic and dynamic characteristics, reduced to the cutting point, of the equivalent elastic subsystems of carriage and workpiece for most lathes are determined by theoretical calculations of their elastically deformed state using the finite element method, taking into account contact deformations in movable joints.

The systems of differential equations used for research are linear, therefore, the implementation of a mathematical model in the Simulink (Matlab) software package using state variables $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ is proposed, taking into account the initial conditions and external influences.

For simulation using the proposed dynamic model, needs to experimentally or theoretically determine the necessary elastic and damping parameters of the dynamic system of machine tools. The elastic stiffness parameters of the carriage system reduced to the cutting point are taken in the following combinations $c5_{max} = 80 \text{ kN}/\mu\text{m}$ and $c6_{min} = 47 \text{ kN}/\mu\text{m}$ with the ratio of the stiffness of carriage system $c_{min}/c_{max} = 0.58$, which approximately reflects the elastic properties of the lathe model 1K62 as research machine tools. The values of the reduced mass parameter for the elastic system of carriage are obtained through calculations using the formula $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m}}$, where f is the oscillation frequency during deformations in the directions of the reduced maximum and minimum stiffness.

The values of the damping coefficients and the coefficient of viscous friction are closely related to the vibration damping coefficient $\zeta = 0.31$. The value of this coefficient is taken for all parts of the elastic system of the machine tools equal to the attenuation coefficient for transverse vibrations of the steel rod. The damping coefficient is calculated using the formula $h = 2\zeta\sqrt{mc}$, where m is the mass value and c is the stiffness value.

To study the impact on the vibration resistance of machining from the side of the tool holder of a pronounced directional stiffness and the choice of its orientation relative to the direction of the cutting force action vector and the directions of orientation of carriage rigidity axes, the following ratio between the maximum and minimum reduced stiffness of the tool holder was adopted in a wide selection range. The maximum reduced stiffness of the tool holder is taken as $c1_{max} = 20 \text{ kN}/\mu\text{m}$, and the minimum is taken from the following values $c2_{min} = 5 \text{ kN}/\mu\text{m}$ with the stiffness ratio $c_{min}/c_{max} = 0.25$. Implementation of the reduced elastic properties of the tool holder

and changing the orientation angle of maximum rigidity is possible by shifting the relative position of the center of rigidity of the elastic system by adjusting or changing its design.

The elastic and dissipative parameters of the workpiece equivalent elastic system are taken from the results of an experimental study and we do not consider it appropriate to expand their range in modeling, since the dynamic effect of the tool holder with an oriented center of rigidity on the vibrations of the part is insignificant and is carried out through the force cutting process. The parameters of the reduced stiffness of the workpiece elastic system are assumed to be the same $c3_{max} = c4_{min} = 20 \text{ kN}/\mu\text{m}$.

Studies have been carried out on the influence of the damping properties of a tool holder with an oriented center of rigidity on the level of vibration resistance L dB of a closed dynamic system of a machine tool (Figure 1, figure 2). The vibration damping coefficient is artificially changed in the range $\zeta = 0.3-14.1$ due to the use of metal materials with increased vibration absorption capacity in the tool holder design.

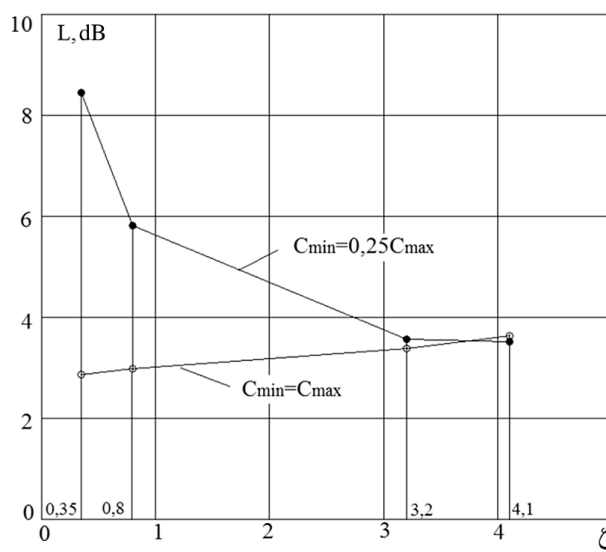


Figure 3 – The results of the numerical study of the influence of vibration-absorbing materials use in the design of a tool holder with an oriented center of rigidity on the vibration resistance level

According to reference books determined experimentally [6], with transverse vibrations of steel rods (AISI 1045 Steel) ($E = 2.03 \cdot 10^4 \text{ kg/mm}^2$), the attenuation coefficient $\zeta = 0.31$; for Low Carbon Steel (Gost St3) ($E = 2 \cdot 10^4 \text{ kg/mm}^2$) – $\zeta = 0.8$; for Alloy Cast Iron ($E = 1.9 \cdot 10^4 \text{ kg/mm}^2$) – $\zeta = 3.2$; for Copper Alloy ($E = 1.15 \cdot 10^4 \text{ kg/mm}^2$) – $\zeta = 4.1$.

The results of the study are shown in comparative graphs (Figure 3) for a tool holder with an oriented center of rigidity with reduced elastic parameters $c1_{\max} = 20 \text{ kN}/\mu\text{m}$, $c2_{\min} = 2.5 \text{ N}/\mu\text{m}$ and ordinary base tool holder with the same rigidity $c1_{\max} = c2_{\min} = 20 \text{ kN}/\mu\text{m}$ at the same boundary conditions of cutting ($t = 15 \text{ mm}$, $P = 9.5 \text{ kN}$) for an elastic carriage system with parameters $c5_{\max} = 80 \text{ kN}/\mu\text{m}$, $c6_{\min} = 47 \text{ kN}/\mu\text{m}$ and a negative angle of orientation of the stiffness axes $\delta = -60^\circ$. An increase in the damping coefficient for a tool post with the same rigidity leads to a gradual increase in the level of cutting stability $L = 2.8\text{--}3.6 \text{ dB}$, however, for a spacial tool holder with an oriented center of rigidity, this leads to a sharp decrease in the level $L = 8.4\text{--}3.5 \text{ dB}$.

CONCLUSIONS. According to the results of the study, it can be argued that the damping properties of the equivalent elastic system of a tool holder with an oriented center of rigidity are related to its ability to dynamically influence the vibration processes of the carriage during turning. An increase in the parameters of internal friction in the design elements of the tool holder due to the use of plastic materials or the use of an additional external friction damper only leads to a decrease in the efficiency of using such tool holders.

A characteristic feature of the carriage group systems of the lathe is a large number of fixed joints that have a large damping effect. In order to evaluate the effect of the carriage's elements, the stiffness was changed in individual joints and the effect of this change on stability was checked. Experiments with carriage of universal machine tools during turning "press down to carriage" do not show a noticeable effect of the vibration stability. But as soon as the traditional design and loading pattern changes, the carriage begins to affect the vibration stability. The lowest vibration resistance in lathes is observed when turning with wide cutters with small plan angles, in particular, when cutting and slotting. On universal machines, processing is practiced with reverse rotation of the workpiece and turning "to tear carriage off rails". In this case, the direction of the cutting force and the loading conditions of carriage change, and the stability increases. It is known, for example, that careful fitting of carriage parts can sometimes reduce stability, while on carriage with loose wedges or on worn carriage or rails, stability is higher. The high vibration resistance of carriage can be explained by increased damping in the fixed joints. At the same time, if the carriage has a large mass and, accordingly, a low frequency

of natural oscillations, then the vibration resistance of such machine tools may be lower than that of machines with light carriage.

REFERENCES

1. Emre, Özlü, Arash, Ebrahimi Araghizad, Erhan, Budak. (2020). Broaching tool design through force modelling and process simulation. *CIRP Annals*. 2020. V. 69. Pp. 53–56.
2. Martin, Postel, Özşahin, O., Altintas, Y. (2018). High speed tooltip FRF predictions of arbitrary tool-holder combinations based on operational spindle identification. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2017. V. 129. Pp. 48–60.
3. Shevchenko, O. (2020). Vplyv radialnoi podatlyvosti pruzhnoi systemy instrumentu tokarnoho verstata na tochnist obrobky. *Prohresyivna tekhnika, tekhnolohiia ta inzhenerna osvita*. 2020. P. 106–109. [in Ukrainian]
4. Vakulenko, S. Analysis of known design solutions of increasing turning vibration stability. *Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. "Science, Research, Development Technics and Technology. #29 Gdańsk" Z 40*. Warszawa, 2020. 72 p. – P. 30–36. ISBN 978-83-66401-53-2.
5. Shmagel, I., Vakulenko, S. (2021). Substantiation and choice of mathematical model structure for theoretical study of vibration resistance increasing problem of the lathe dynamic system during turning. *Youth Innovations in Mechanical Engineering : Zbirka prats Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv, Igor Sikorsky KPI*, 2021. № 3. 460 p., p. 179–186. ISSN 2708-3926. <https://doi.org/10.20535/2708-3926.2021.3.231795>
6. Pysarenko, H. S. *Vybrovohloshchaiushchye svoystva konstruktivnykh materialov : Spravochnik*. Kyiv : Naukova dumka, 1971. – 375 s.
7. Vakulenko, S. Theoretical research of the cutting process dynamic characteristics. *Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej "Science, Research, Development Technics and Technology. #29 Gdańsk" zorganizowanej dla pracowników naukowych uczelni, jednostek naukowo-badawczych oraz badawczych z państw obszaru byłego Związku Radzieckiego oraz byłej Jugosławii*. (30.05.2020 – 31.05.2020) Z 40. – Warszawa : Wydawca: Sp. z o.o. "Diamond trading tour", 2020. – 72 p. – P. 39–44. ISBN 978-83-66401-53-2.
8. Kosilova, A. G., Mesheriakova, R. K. and Suslov, A. G. (2001), *Spravochnik tehnologamashinostroitelia*, in Dalskogo A. M. (ed.), Vol. 2, no. 1, Mashinostroenie, Moscow, Russian.
9. Altintas, Y., Aslan, D. Integration of virtual and on-line machining process control and monitoring *CIRP Annals* 66 (1), 349–352, 2017.
10. Ahmadi, K., Altintas, Y. Identification of machining process damping using output-only modal analysis *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 136 (5), 2014.
11. Kilic, Z. M., Altintas, Y. Generalized mechanics and dynamics of metal cutting operations for unified simulations.

International Journal of Machine Tools and Manufacture 104, 1–13, 2016.

12. CX, Li, Y., Ding, GY, Gu, LM, Zhu. Damping control of piezo-actuated nanopositioning stages with recursive delayed position feedback. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 22 (2), 855–864, 2016.

13. Z., Wen, Y., Ding, P., Liu, H., Ding. An Efficient Identification Method for Dynamic Systems with Coupled Hysteresis and Linear Dynamics: Application to Piezoelectric-actuated Nanopositioning Stages. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 24 (1), 326–337, 2019.

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕМПФІРУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЕЦІАЛЬНОГО РІЗЦЕТРИМАЧА З ОРІЄНТОВАНИМ ЦЕНТРОМ ЖОРСТКОСТІ НА ВІБРОСТІЙКІСТЬ ПРИ ТОЧІННІ

Сергій Вакулєнко

старший викладач кафедри конструювання машин

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, svakulenko@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-1730-0547

У статті наведено результати теоретичного дослідження з використанням математичної моделі потенційно нестійкої динамічної системи різцетримач-супорт-деталь та процес різання, та вплив параметрів демпфірування підсистеми різцетримача на відносне значення рівня вібростійкості. Відомими напрямками підвищення вібростійкості токарної обробки є зменшення негативного впливу координатного зв'язку між вібраційним переміщенням різця та процесом різання, через використання додаткового різцетримача з орієнтованим положенням центра жорсткості або різцетримача з підвищеними демпфіруючими характеристиками. Актуальним є дослідження доцільності одночасного поєднання цих двох напрямків підвищення вібростійкості в одній конструкції різцетримача. За наведеними результатами імітаційного моделювання процесу різання та оцінки його сталості за критеріями Найквіста встановлено, що відносне підвищення показників параметра демпфірування в конструкції різцетримача з орієнтованим центром жорсткості призводить до зменшення відносного рівня амплітуди коливань відстані між різцем та деталлю та одночасним зменшенням вібростійкості процесу обробки. Отже у випадку високопродуктивної обробки на граничних режимах різання на токарному верстаті для протидії виникненню та збільшенню автоколивань через недоліки пружних характеристик конструкції супорта, ефективним є саме створення направлених певним чином вібраційних коливань різця через використання спеціальних різцетримачів із подальшим зменшенням енергії самозбудження. Збільшення параметру демпфірування в конструкції такого спеціального різцетримача через використання пластичних матеріалів призводить до зменшення ефективності його корисної вібраційної дії на процес різання.

Ключові слова: вібрації, вібростійкість, різцетримач, токарна обробка, динаміка машин, центр жорсткості.

BIBLIOGRAPHY

1. Emre Özlü, Arash Ebrahimi Araghizad, Erhan Budak. (2020). Broaching tool design through force modelling and process simulation. CIRP Annals. 2020. V. 69. Pp. 53–56.

2. Martin Postel, O Özşahin, Y Altintas. (2018). High speed tooltip FRF predictions of arbitrary tool-holder combinations based on operational spindle identification. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2017. V. 129. Pp. 48–60.

3. Шевченко О. Вплив радіальної податливості пружної системи інструменту токарного верстата на точність обробки. *Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта*. 2020. С. 106–109.

4. Vakulenko S. Analysis of known design solutions of increasing turning vibration stability. Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. “Science, Research, Development Technics and Technology. #29 Gdańsk” Z 40. Warszawa, 2020. 72 p. – P. 30–36. ISBN 978-83-66401-53-2.

5. Shmagel I., Vakulenko S. (2021). Substantiation and choice of mathematical model structure for theoretical study of

vibration resistance increasing problem of the lathe dynamic system during turning. Youth Innovations in Mechanical Engineering: Zbirkaprats Mizhnarodnoinukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv, Igor Sikorsky KPI, 2021. № 3. 460 p., p. 179–186. ISSN 2708-3926. <https://doi.org/10.20535/2708-3926.2021.3.231795>

6. Писаренко Г. С. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник. Киев : Наукова думка, 1971. 375 с.

7. Vakulenko S. Theoretical research of the cutting process dynamic characteristics. Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. Konferencja Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej “Science, Research, Development Technics and Technology. #29 Gdańsk” zorganizowanej dla pracowników naukowych uczelni, jednostek naukowo-badawczych oraz badawczych z państw obszaru byłego Związku Radzieckiego oraz byłej Jugosławii. (30.05.2020 – 31.05.2020) Z 40 – Warszawa : Wydawca: Sp. z o.o. “Diamond trading tour”, 2020. – 72 p. – P. 39–44. ISBN 978-83-66401-53-2.

8. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Суслов А. Г. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2. 2001. Под ред. А. М. Дальского. Машиностроение.

9. Altintas Y., Aslan D. Integration of virtual and on-line machining process control and monitoring CIRP Annals 66 (1), 349–352, 2017.

10. Ahmadi K., Altintas Y. Identification of machining process damping using output-only modal analysis Journal of Manufacturing Science and Engineering 136 (5), 2014.

11. Kilic Z. M., Altintas Y. Generalized mechanics and dynamics of metal cutting operations for unified simulations.

International Journal of Machine Tools and Manufacture 104, 1–13, 2016.

12. CX Li, Y Ding, GY Gu, LM Zhu Damping control of piezo-actuated nanopositioning stages with recursive delayed position feedback. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 22 (2), 855–864, 2016.

13. Z Wen, Y Ding, P Liu, H Ding. An Efficient Identification Method for Dynamic Systems with Coupled Hysteresis and Linear Dynamics: Application to Piezoelectric-actuated Nanopositioning Stages. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 24 (1), 326–337, 2019.

Стаття надійшла 03.03.2022

ВПЛИВ ТОВЩИНИ ДИСКРЕТНОГО ГЛОБУЛЯРНОГО ПОКРИТТЯ, НАНЕСЕНОГО НА РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ ТА РЕЖИМІВ СВЕРДЛІННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ЗІ СКЛОПЛАСТИКА

Євген Корбут

кандидат технічних наук,
доцент кафедри конструювання машин

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, korbut113@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-1221-4052

Валерія Парненко

кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри конструювання машин

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, v.parnenko@kpi.ua;

ORCID: 0000-0002-1450-2744

Тетяна Ніколаснко

кандидат технічних наук,
доцент кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки

Київський національний університет будівництва і архітектури, просп. Повітрофлотський 31, Київ Україна,
03037, tatyana.rodina@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-0960-1251

Сергій Майданюк

кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри конструювання машин

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, maysv3@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-2853-8606

Стаття присвячена підвищенню працездатності інструменту для обробки волокнистих полімерних композиційних матеріалів (ВПКМ) на основі розробки нових методів і схем модифікації поверхневого шару різальної кромки. В статті розглянуто дослідження можливості використання інструменту зі інструментальних швидкорізальних сталей для обробки різанням деталей з волокнистих полімерних матеріалів, вплив товщини дискретного покриття та режимів обробки на шорсткість виробів з ВПКМ. Показано, що зменшення собівартості інструменту і як наслідок вартості кінцевого продукту можливо за рахунок використання дискретної конструктивної схеми, тобто заміну інструменту з полікристалічним алмазом на інструмент зі швидкорізальної сталі з покриттям дискретного глобулярного типу без втрати продуктивності обробки та якості обробленої поверхні деталей з ВПКМ.

Ключові слова: різальний інструмент, волокнистий полімерний композиційний матеріал, ультратонкі алмазні покриття, шорсткість поверхні електроіскрове легування, дискретне покриття глобулярного типу, склопластик.

На теперішній час прогрес в авіабудуванні, автобудуванні та в інших галузях промисловості в основному пов'язується з розробкою і широким застосуванням композиційних матеріалів (КМ), а саме волокнистих полімерних композиційних матеріалів (ВПКМ) [1–4]. ВПКМ мають комплекс властивостей і особливостей, що відрізняються від традиційних конструкційних матеріалів (металевих сплавів) і в сукупності

відкривають широкі можливості як для вдосконалення існуючих конструкцій найрізноманітнішого призначення, так і для розробки нових конструкцій і технологічних процесів, але поряд з цим, їх фізико-механічні властивості викликають труднощі обробкою різанням, що накладає певні вимоги до використання різального інструменту. Перш за все вони повинні забезпечувати необхідну точність та якість обробленої поверхні

деталей з ВПКМ, мати високий опір зношуванню. Спрощення їх конструкції, підвищення рівня технологічності виготовлення дозволить знизити собівартість інструменту і як наслідок, собівартість виробу з ВПКМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що на теперішній час по критеріям продуктивності та забезпечення якості виробів з ВПКМ в найбільшій мірі відповідає використання інструменту з полікристалічного алмазу та твердосплавний інструмент з ультратвердим алмазоподібним покриттям (DLC) [5; 6; 7]. Але, в той же час з забезпеченням продуктивності та якості обробки їх використання призводить до ускладнення конструкції інструменту, його високої вартості, і як наслідок, збільшення собівартості виробу з ВПКМ.

Одним із можливих шляхів зменшення собівартості обробки ВПКМ являється використання інструменту зі ШР сталі з нанесеним на його робочі поверхні дискретного глобулярного покриття [8; 9]. Але дослідження по використанню різального інструменту для обробки ВПКМ, з формованим на його робочій поверхні дискретним глобулярним покриттям не проводились. Тому питання забезпечення продуктивності та якості обробки ВПКМ інструментом зі швидкохідних сталей з формованим на його робочій поверхні модифікованого дискретного покриття глобулярної структури є актуальною задачею.

В даній роботі було досліджено вплив висоти покриття та режимів обробки на шорсткість отриманого виробу, як один із показників якості отворів.

Для підвищення працездатності інструменту для обробки композиційних матеріалів на основі аналізу цієї проблеми було визначено, що найефективнішим способом її вирішення є створення покриттів для обробки ВПКМ альтернативних алмазному покриттю.

Основною проблемою при обробці ВПКМ є відвід тепла з зони різання. Так як теплопровідність ВПКМ дуже низька, то постає питання вибору складу покриття для різального інструменту з високим коефіцієнтом теплопровідності, близьким до алмазу і з високою твердістю. Так в табл. 1 представлені фізико-механічні характеристики найбільш вживаних по складу покриттів [13].

Аналіз покриттів (табл. 1) показує, що в найбільшій мірі за своїми фізико-механічними властивостями до алмазного наближається покриття $\text{TiCrB}_2 + \text{AlN}$.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості матеріалів покриття

Параметр	$\text{TiCrB}_2 + \text{AlN}$	TiN	WC	C (алмаз)
Твердість (по Кнупу) H_v , ГПа	38,9	20,5	24,5	80
Точка плавлення, °C	3360	2950	2870	4073
Коефіцієнт теплового розширення α , $10^{-6}/^\circ\text{K}$	6,3	9,35	23,8	2,0
Коефіцієнт теплопровідності λ Вт/мК	32,5	67,7 (1500 K) 12,6 (300 K)	29,4	110
Границя міцності на стиск σ_{cm} , 10^6 Па	1380	1298	3600	1200
Модуль І роду E , 10^{-9} , Па	860	256	710	1050

Архітектура покриттів дискретного типу глобулярної структури на робочих поверхнях різального інструменту була визначена за умовою когезійно-адгезійної міцності покриття [14]. Так в табл. 2 представлені розміри дискретних ділянок та щільність, нанесених на них глобул в залежності від товщини покриття.

Таблиця 2 – Залежність величини дискретної ділянки та щільність глобул в залежності від товщини покриття

Товщина покриття h , мкм	Величина дискретної ділянки, мм	Щільність глобул, %
3	0,6	50–65
5	0,54	50–60
7	0,43	45–55

Для визначення величини шорсткості отриманої поверхні були використані поверхні заготовок з склопластику марки СТЕФ-У, отримані в результаті свердління свердлами діаметром 8 мм зі сталі Р6М5 з нанесеним на його робочі поверхні дискретним покриттям глобулярного типу $\text{TiCrBr} + \text{AlN}$ товщиною $h = 3$ мкм, $h = 5$ мкм, $h = 7$ мкм, з розмірами дискретних ділянок, визначеними з урахуванням умов когезійно-адгезійної міцності (табл. 2). Режимы обробки призначалися відповідно до рекомендацій [6; 10] для алмазного свердла.

Вимірювання шорсткості R_a оброблюваної поверхні проводилось на портативному профілометрі моделі Time Group Inc.

TR200 (рис. 1). Даний прилад відповідає стандарту ISO 4287-1997, DIN 4768-1990, JIS B0601:2001.

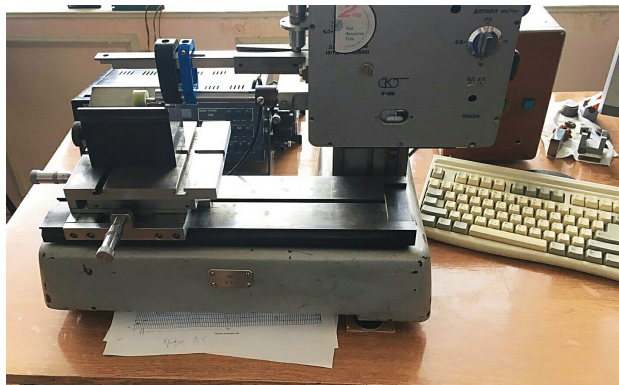


Рисунок 1 – Портативний профілометр моделі Time Group Inc. TR200

Залежність шорсткості поверхні моделі від умов свердління наведена на рисунку 2.

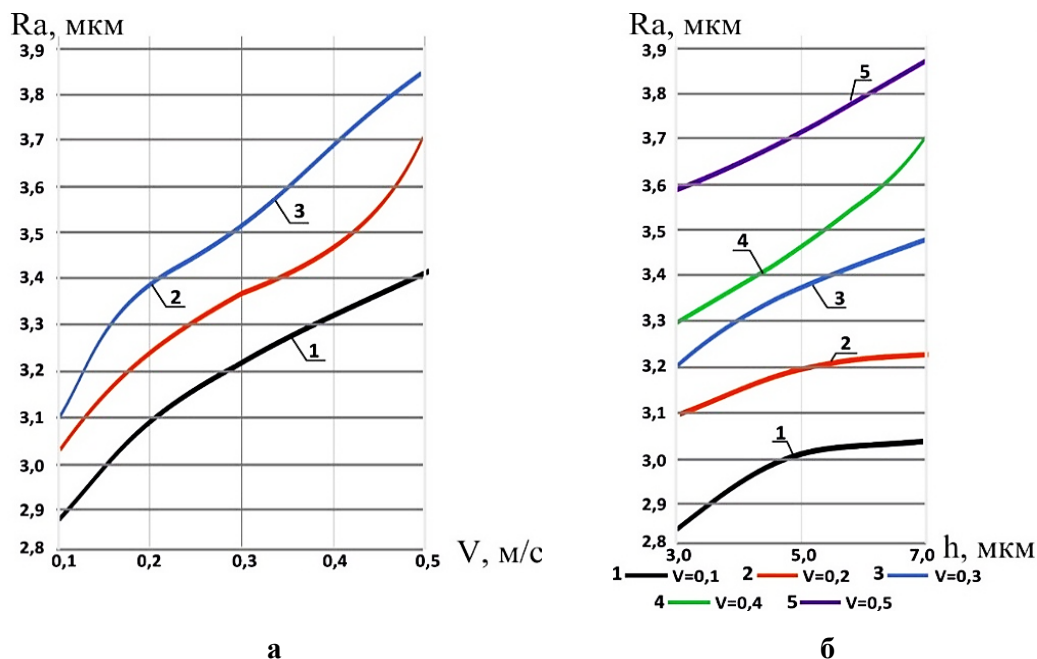
Аналіз залежності показує, що від зміни товщини дискретного покриття глобулярної структури та швидкості свердління шорсткість

обробленого отвору змінюється в межах від $Ra = 2,8 \div 4$ (мкм), що відповідає вимогам [10–12].

Зі збільшенням товщини глобулярного покриття та швидкості свердління шорсткість поверхні обробленого отвору збільшується.

Це збільшення пояснюється зі збільшенням контакту глобул в процесі різання з оброблюваною поверхнею, площа якої визначається радіусом глобули. Збільшення шорсткості поверхні отвору теж залежить від кількості глобул розташованих вздовж різальної кромки. Зі збільшенням радіуса глобули, тобто товщини покриття ця кількість зменшується, що призводить до збільшення швидкості кожної з глобул в процесі різання, і як наслідок – до збільшення шорсткості.

Дані дослідження доводять доцільність використання інструментальних швидкорізальних сталей для обробки різанням деталей з ВПКМ за рахунок використання дискретних глобулярних покриттів певної архітектури та складу без втрати якості, що дає змогу значно зменшити собівартість кінцевого продукту.



а) 1 – $h = 3$ мкм; 2 – $h = 5$ мкм; 3 – $h = 7$ мкм.

б) 1 – $V = 0,1$ м/с; 2 – $V = 0,2$ м/с; 3 – $V = 0,3$ м/с; 4 – $V = 0,4$ м/с; 5 – $V = 0,5$ м/с.

Рисунок 2 (а, б) – Залежність шорсткості поверхні обробленого отвору від умов свердління

ЛІТЕРАТУРА

1. Авиационно-космические материалы и технологии / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, Н. Е. Калинина и др. Запорожье, изд. ОАО «Мотор Сич», 2009. 383 с.

2. Composite materials. Fatigue and fracture / Erian A. Armanios, editor. Printed in Ann Arbor, MI, 1997. 573 с.

3. Matthews F.L., Rees D. Rawlings. Composite materials: engineering and science. Printed by The Alden Press, Oxford, England, 1999. 470 p.

4. Лабунець В. Ф., Корбут С. В., Адаменко Ю. І. Перспективи використання композиційних матеріалів в авіа-космічній галузі. *Проблеми тертя та зношування. Науково-технічний збірник*. Київ, 2011. Вип. 56, С. 89–96.

5. Корбут Є. В. Особливості обробки ВПКМ процесом різанням. Перспективні технології та прилади. Луцьк, 2018, С. 82–87.

6. Криворучко Д. В. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор) : монография / В. А. Залого, В. А. Пасечник, В. А. Колесник, С. С. Емельяненко. Сумы, 2013. 272 с.

7. Повышение точности определения механических свойств карбон-карбонитовых и карбон-полимерных материалов применением рациональных методов обработки исследуемых образцов / О. А. Ченчева, Е. Е. Лашко, В. Т. Щетинин, А. Ф. Саленко, Клименко С. А., О. А. Самусенко, О. М. Потапов. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Випуск 3/2017 (104). Частина 1. С. 62–71.

8. Технологические, конструктивные и эксплуатационные особенности упрочняющих покрытий дискретной структуры на деталях машин и инструменте / Б. А. Ляшенко, Е. К. Соловых, Е. Б. Сорока и др. 36.: *Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління*.

Тези доповідей третьої науково-практичної конференції Серія «Техніка, Технологія». Київ, 2005. С. 22–23.

9. Оптимизация дискретной структуры при поверхностной электроконтактной закалке / С. А. Клименко, Е. К. Соловых, Е. Б. Сорока и др. *Инженерия поверхности и реновация изделий* : Материалы 6-й междунар. н.-техн. конф. Киев-Ялта, 2006. С. 83–85.

10. Штучный Б. П. Механическая обработка пластмасс. Москва. Машиностроение. 1987. 266 с.

11. ДСТУ ГОСТ 14802:2008 Заклепки (повышенной точности).

12. ДСТУ ГОСТ 11284:2008 Отвори наскрізні під крипильні деталі.

13. Антонюк В. С. Основи підвищення працездатності різального інструменту шляхом формування зносостійких покриттів дискретного типу : дис. докт. тех. наук. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 375 с.

14. Ляшенко Б. А., Новиков Н. В., Клименко С. А. Дискретное модифицирование поверхностного слоя деталей машин и инструментов. Київ : ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2017. 264 с.

INFLUENCE OF THICKNESS OF DISCRETE GLOBULAR COATING APPLIED ON CUTTING TOOLS AND DRILLING MODES ON ROUGHNESS OF SURFACE FIBER PLASTIC DETAIL

Korbut Ievgen

PhD,

Assistant Professor at the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, korbut113@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-1221-4052

Valeriia Parnenko

PhD,

Senior Lecturer at the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, v.parnenko@kpi.ua;

ORCID: 0000-0002-1450-2744

Tetiana Nikolaienko

PhD,

Assistant Professor at the Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, tatyana.rodina@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-0960-1251

Serhii Maidaniuk

PhD,

Senior Lecturer at the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, maysv3@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-2853-8606

The article is devoted to improving the efficiency of the tool for processing fibrous polymeric composite materials based on the development of new methods and schemes for modifying the surface layer of the cutting edge. It is shown that progress in aircraft construction, automotive and other industries is mainly associated with the development and widespread use of composite materials (CM), namely fibrous polymer composite materials (FPCM), which is represented by fiberglass, whose properties are significantly different from the properties metallic materials and therefore their processing by cutting is insufficiently studied and requires further study. It is shown that diamond coatings are predominant for FPCM processing, but there is a problem of creating the necessary adhesion, and the high cost of the tool with this coating. A competing method of applying wear-resistant coatings is the method of electrospark alloying (EA), which in comparison with other methods has an order of magnitude lower energy consumption and several orders of magnitude lower equipment costs. The article examines the possibility of using a tool made of tool high-speed steels for cutting parts made of fibrous polymeric materials (FPCM), the influence of discrete coating thickness and processing modes on the roughness of FPCM products as one of the quality criteria. The results of the experiments confirm the possibility of using a tool made of high-speed steel with a discrete coating applied to its working surfaces. It is shown that the reduction of tool cost and as a consequence of the cost of the final product is possible due to the use of discrete structural scheme, ie replacement of polycrystalline diamond tool with high-speed steel tool with discrete globular type coating without loss of machining productivity adhesive strength.

Key words: cutting tool, fibrous polymer composite material, ultrathin diamond coating, surface roughness, electrospark alloying, discrete coating of globular type, fiberglass.

REFERENCES

1. Boguslaev, V. A., Kachan, A. Ya., Kalinina, N. E. (2009). *Aviacionno-kosmicheskie materialy i tekhnologii* [Aerospace materials and technologies]. Zaporozh'e : OAO "Motor Sich". [in Russian]
2. Composite materials. Fatigue and fracture. (1997). Erian A. Armanios, editor. Printed in Ann Arbor, MI. [in English]
3. Matthews, F. L. Composite materials: engineering and science. (1999). Matthews F. L., Rawlings Rees D. Printed by The Alden Press, Oxford, England. [in English]
4. Labunets, V. F., Korbuto, Ye. V., Adamenko, Yu. I. (2011). *Perspektyvy vykorystannia kompozytsiynykh materialiv v aviakosmichnii haluzi* [Prospects for the use of composite materials in the aerospace industry]. *Problemy tertia ta znoshuvannia. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – Problems of friction and wear. Scientific and technical collection*, 56, 89–96. [in Ukrainian]
5. Korbuto, Ye. V. (2018). *Osoblyvosti obrobky VPKM protsesom rizanniam*. [Features of the processing of fibrous polymer composite materials by cutting process]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady – Advanced technologies and devices*, 82–87. [in Ukrainian]
6. Krivoruchko, D. V., Zaloga, V. A., Pasechnik, V. A., Kolesnik, V. A., Emel'yanenko, S. S. (2013). *Mekhanicheskaya obrabotka kompozitsionnykh materialov pri sborke letatel'nykh apparatov (analiticheskij obzor)* [Mechanical processing of composite materials in the assembly of aircraft (analytical review)]. Monografiya. Sumy. [in Russian]
7. Chencheva, O. A., Lashko, E. E., Shchetinin, V. T., Salenko, A. F., Klimenko, S. A. (2017). *Povyshenie tochnosti opredeleniya mekhanicheskikh svoystv karbon-karbonitovykh i karbon-polimernykh materialov primeneniem racional'nykh metodov obrabotki issleduemykh obrazcov* [Improving the accuracy of determining the mechanical properties of carbon-carbonite and carbon-polymer materials using rational methods of processing the studied samples]. *Visnik*
8. Lyashenko, B. A., Solovyh, E. K., Soroka, E. B. i dr. (2005). *Tekhnologicheskie, konstruktivnye i ekspluatatsionnye osobennosti uprochnyayushchikh pokrytij diskretnoj struktury na detal'nykh mashin i instrumente* [Technological, design and operational features of hardening coatings of a discrete structure on machine parts and tools]. *Problemi ta perspektivi rozviku transportnih sistem: tekhnika, tekhnologiya, ekonomika i upravlinnya. Tezi dopovidej tret'oi naukovo-praktichnoi konferencii Seriya "Tekhnika, Tekhnologiya" – Problems and prospects of transport systems development: engineering, technology, economics and management. Abstracts of the third scientific-practical conference. Series "Technology, Technology"*, 22–23. [in Russian]
9. Klimenko, S. A., Solovih, E. K., Soroka, E. B. (2006). *Optimizatsiya diskretnoj struktury pri poverhnostnoj elektrokontaktnej zakalke* [Optimization of discrete structure at surface electrocontact hardening]. *Inzheneriya poverhnosti i renovatsiya izdelij. Materialy 6-j mezhdunar. n.-tekhn. konf. – Surface engineering and product renovation. – Materials of the 6th International Scientific and Technical Conference*, 83–85. [in Russian]
10. Shtuchnyj, B. P. (1987). *Mekhanicheskaya obrabotka plastmass* [Machining of plastics]. Moskva. Mashinostroenie. [in Russian]
11. Zaklepki (povyshennoj tochnosti): Diametry otverstij pod zaklepki, razmery zamykayushchih golovok i podbor dlin zaklepk [Rivets (increased accuracy): Diameters of holes for rivets, sizes of closing heads and selection of rivet lengths]. (2008). *DSTU GOST 14802:2008 from 1st July 2008*. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukraine. [in Ukrainian]
12. Otvory naskrizni pidkryplni detali [Through openings under fasteners]. *DSTU GOST 11284:2008 from 1st July 2008*. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukraine. [in Ukrainian]

13. Antoniuk, V. S. (2006). Osnovy pidvyshchennia pratsezdatsnosti rizalnoho instrumentu shliakhom formuvannia znosostiikykh pokrytti dyskretnoho typu [Basics of improving the performance of cutting tools by forming wear-resistant coatings of a discrete type]. Candidate's thesis. Kyiv : NTUU "KPI". [in Ukrainian]

14. Lyashenko, B. A., Novikov, N. V., Klimenko, S. A. (2017). Diskretnoe modifitsirovanie poverhnostnogo sloya detalej mashin i instrumentov [Discrete modification of the surface layer of parts of machines and tools]. Kyiv : ISM im. V. N. Bakulya. [in Russian]

Стаття надійшла 14.03.2022

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ РОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНЬ ПО ВИСОТІ НАПІВФАБРИКАТУ З ПОЛІМЕРНОГО БЕТОНУ ПІД ЧАС ЙОГО ПОВЕРХНЕВОГО ВІБРАЦІЙНОГО УЩІЛЬНЕННЯ

Дмитро Савелов

доцент кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, dvsavelov@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5170-9621

Для теоретичного визначення напружено-деформованого стану ущільнюваного вібраційною плитою полімерного бетону виконано дослідження динамічної системи «вібраційна плита – полімерний бетон», в якій ущільнюваний вібраційним навантаженням полімерний бетон зображено у вигляді системи з розподіленими параметрами. В результаті підстановки виразу, який описує закон руху вібраційної плити у робочому режимі, в залежність між напруженням і деформацією для умов одновісного напруженого стану був знайдений закон зміни напружень, які виникають в ущільнюваному шарі полімерного бетону. Отриманий таким чином закон дозволив визначити зміни напружень не тільки в основі і на поверхні ущільнюваного полімерного бетонного виробу, але й в його шарах залежно від обраних параметрів вібраційного впливу. За знайденими теоретичними залежностями побудовано графіки, які наочно ілюструють зміни амплітуди коливань вібраційної плити залежно від висоти виробу, а також особливості розподілу напружень по висоті ущільнюваного шару залежно від відносної щільності шару полімерного бетону для обґрунтованого раніше режиму вібраційного впливу.

Ключові слова: вібраційна плита, полімерний бетон, коливання, напруження, деформація.

Під час ущільнення полімерного бетону поверхневим вібраційним робочим органом відбувається зміна його напружено-деформованого стану. При цьому розподіл напружень, які виникають в ущільнюваному вібраційним навантаженням полімерному бетоні та визначають якість готового виробу, залежить від фізико-механічних властивостей полімерного бетону, характеру й режимів вібраційного впливу, а також розмірів самого виробу.

Систематичні дослідження процесів вібраційної обробки технологічних середовищ дозволили накопичити значний досвід у тому числі й в питаннях зміни характеру напружень під час вібраційного ущільнення ґрунтів [1–3], цементних й асфальтних бетонів [4–8], порошкових середовищ [9] у разі їх модельного уявлення. Детальне ознайомлення з цими роботами показує, що для визначення закономірностей зміни напружень під час здійснення різних способів вібраційного впливу досліджувалися динамічні системи «вібраційний робочий орган – ґрунт», «вібраційний майданчик – ущільнюване середовище» та ін. Такий підхід з досить високим ступенем точності дозволив отримувати не тільки аналітичні закономірності зміни напружень, які виникають в ущільнюваних середовищах, а й оцінити характер їх зміни в шарах виробів.

Для виробництва якісних виробів і напівфабрикатів з полімерного бетону необхідно оцінити характер розподілу технологічних напружень в шарах полімерного бетону залежно від підібраних робочих параметрів вібраційного обладнання. Так у роботах [10; 11] знайдені закон руху вібраційної плити, обґрунтовано режими руху і раціональні параметри робочого органу для поверхневого ущільнення залежно від фізико-механічних характеристик полімерного бетону й розмірів виробів.

Це розкриває подальші можливості для проведення теоретичних досліджень характеру розподілу напружень по висоті ущільнюваних виробів, перевірки отриманих раніше результатів і підібраних параметрів обладнання, а також прогнозування якості одержуваних напівфабрикатів і виробів.

Метою цих досліджень є теоретичне дослідження характеру зміни напружень по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону під час його поверхневого вібраційного ущільнення.

У роботах [10; 11] представлена розрахункова схема динамічної системи «вібраційна плита – полімерний бетон», в якій полімерний бетон зображено у вигляді системи з розподіленими параметрами. В результаті проведення теоретичних досліджень визначено вид закону руху вібраційної плити, яка в робочому режимі ущільнення взаємодіє з полімерним бетоном [10]:

$$u(x, t) = \frac{A}{\sqrt{(sh\alpha H \cos kH)^2 + (ch\alpha H \sin kH)^2}} \times \\ \times [sh[\alpha(H-x)] \cos[k(H-x)] \sin(\omega t - \theta) + \\ + ch[\alpha(H-x)] \sin[k(H-x)] \cos(\omega t - \theta)] \quad (1)$$

Тут H – висота ущільнюваного шару; k – хвильове число; α – коефіцієнт поглинання вібраційного навантаження, який характеризує зменшення амплітуди коливань у разі віддалення від джерела збудження; A – амплітуда вимушених коливань вібраційної плити й верхнього шару полімерного бетону; ω – кутова частота вимушених коливань, t – поточний час; θ – кут зсуву фаз.

Амплітуда вимушених коливань вібраційної плити й верхнього шару полімерного бетону визначається виразом [10; 11]:

$$A = \frac{Q}{\sqrt{[c_3 + c_n - (m + m_n)\omega^2]^2 + \omega^2 b_n^2}}; \quad (2)$$

де Q – амплітуда збуджуючої сили; c_n і b_n – наведені коефіцієнти жорсткості й дисипативного опору ущільнюваного полімерного бетону; m_n – наведена маса ущільнюваного полімерного бетону.

Вирази для аналітичного визначення значень θ , k , α , c_n , b_n і m_n , а також їх чисельні значення визначені в роботі [10].

Для теоретичного визначення закону зміни напружень, що виникають в ущільнюваному вібраційною плитою шарі полімерного бетону, підставимо вираз (1) в залежність між напруженням і деформацією в полімерному бетоні [10]:

$$\sigma(x, t) = E_1 \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + \eta \cdot \left(\frac{E_1 + E_2}{E_2} \right) \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x \partial t} - \\ - \left(\frac{\eta \cdot \rho}{E_2} \right) \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial t^3}, \quad (3)$$

де $\sigma(x, t)$ – напруження, що виникають в ущільнюваному шарі полімерного бетону; u і x – ейлерова і лагранжева координати; E_1 і E_2 – динамічні модулі пружної деформації полімерного бетону; η – коефіцієнт динамічної в'язкості, що враховує внутрішнє тертя в полімерному бетоні.

В результаті підстановки (1) в (3) і перетворень, визначимо закон зміни напружень в ущільнюваному шарі полімерного бетону у такому вигляді:

$$\sigma(x, t) = A \cdot \sqrt{\frac{(k^2 + \alpha^2) \cdot \left(E_1^2 + \eta^2 \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{E_1 + E_2}{E_2} \right)^2 \right)}{(sh\alpha H \cos kH)^2 + (ch\alpha H \sin kH)^2}} \times \\ \times \{ sh\alpha(H-x) \sin k(H-x) \sin(\omega t - \theta + \phi_3 - \phi_4) -$$

$$- ch\alpha(H-x) \cos k(H-x) \cos(\omega t - \theta + \phi_3 - \phi_4) - \\ - \frac{\eta \cdot \rho \cdot \omega^3}{E_2} \times \\ \times \sqrt{\frac{(k^2 + \alpha^2) \cdot \left(E_1^2 + \eta^2 \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{E_1 + E_2}{E_2} \right)^2 \right)}{(sh\alpha H \cos kH)^2 + (ch\alpha H \sin kH)^2}} \times \\ \times [ch\alpha(H-x) \sin k(H-x) \sin(\omega t - \theta) - \\ - sh\alpha(H-x) \cos k(H-x) \cos(\omega t - \theta)] \}, \quad (4)$$

де ϕ_3 і ϕ_4 – кути зсуву фаз:

$$\phi_3 = \arctg \left(\eta \cdot \omega \cdot \left(\frac{E_1 + E_2}{E_2} \right) / E_1 \right); \quad (5)$$

$$\phi_4 = \arctg(\alpha / k).$$

З аналізу отриманого виразу (4) витікає, що на величину виникаючих напружень $\sigma(x, t)$ суттєвий вплив чинять динамічні модулі пружної деформації E_1 , E_2 і коефіцієнт динамічної в'язкості η полімерного бетону, амплітуда A і кутова частота вимушених коливань ω вібраційної плити, висота шару, що ущільнюється H , хвильове число k і коефіцієнт поглинання вібраційного навантаження α .

З виразу (4) знайдемо закон зміни напружень на поверхні ущільнюваного шару у разі, коли $x = 0$:

$$(0, t) = A \cdot \sqrt{\frac{(k^2 + \alpha^2) \cdot \left(E_1^2 + \eta^2 \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{E_1 + E_2}{E_2} \right)^2 \right)}{(sh\alpha H \cos kH)^2 + (ch\alpha H \sin kH)^2}} \times \\ \times \{ sh\alpha H \cdot \sin kH \cdot \sin(\omega t - \theta + \phi_3 - \phi_4) - \\ - ch\alpha H \cdot \cos kH \cdot \cos(\omega t - \theta + \phi_3 - \phi_4) - \\ - \frac{\eta \cdot \rho \cdot \omega}{E_2} \times \\ \times \sqrt{\frac{(k^2 + \alpha^2) \cdot \left(E_1^2 + \eta^2 \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{E_1 + E_2}{E_2} \right)^2 \right)}{(sh\alpha H \cos kH)^2 + (ch\alpha H \sin kH)^2}} \times \\ \times [ch\alpha H \cdot \sin kH \cdot \sin(\omega t - \theta) - \\ - sh\alpha H \cdot \cos kH \cdot \cos(\omega t - \theta)] \}, \quad (6)$$

а також в його основі у разі, коли $x = H$:

$$\sigma(H, t) = A \cdot \sqrt{\frac{(k^2 + \alpha^2) \cdot \left(E_1^2 + \eta^2 \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{E_1 + E_2}{E_2} \right)^2 \right)}{(sh\alpha H \cos kH)^2 + (ch\alpha H \sin kH)^2}} \times \\ \times [-\cos(\omega t - \theta + \phi_3 - \phi_4)]. \quad (7)$$

Теоретичні положення перевірялися на лабораторному вібраційному робочому органі з такими основними параметрами: маса вібраційної плити $m = 75$ кг; амплітуда збуджуючої сили $Q = 4415$ Н; кутова частота вимушених коливань $\omega = 293$ рад/с; жорсткість пружних амортизаторів

рів $c_3 = 470880$ Н/м; амплітуда коливань вібраційної плити в холостому режимі $A_{xx} = 0,68$ мм. Цим вібраційним робочим органом ущільнювався полімерний бетон у формі розміром в плані $0,2 \times 0,4$ м² такого структурного складу [10]: щебінь гранітний фракції 5–20 (50 % від загального об'єму суміші), пісок річковий з модулем крупності $M_k = 1,8$ (22–27 %); маршаліт фракції 0,05 мм (10–15 %); поліефірна смола Filabond 2000 PA (5 %); затверджувач МЕКР-НА-2 (0,5–1 %).

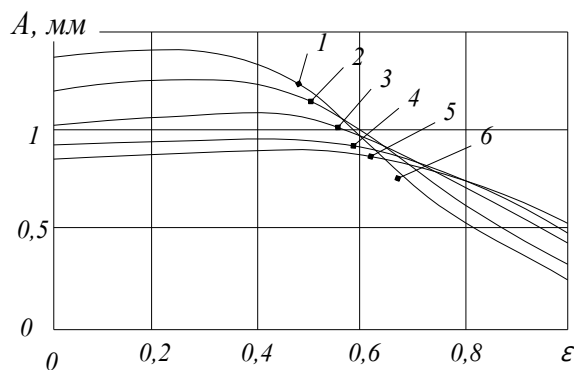


Рисунок 1 – Зміна амплітуди коливань вібраційної плити A залежно від відносної щільності ε та висоти шару H :

- 1 – при $H = 50$ мм; 2 – при $H = 60$ мм;
3 – при $H = 80$ мм; 4 – при $H = 100$ мм;
5 – при $H = 120$ мм; 6 – при $H = 150$ мм

На рис. 1 показано зміну амплітуди коливань вібраційної плити A , отриману в результаті розрахунку за формулою (2). Наведені на рис. 1 криві показують, що суттєвий вплив на амплітуду коливань A вібраційної плити чинять фізико-механічні характеристики полімерного бетону і висота H шару, що ущільнюється.

Так зі збільшенням висоти H ущільнюваного шару від 50 до 150 мм і відносній щільності ε полімерного бетону амплітуда коливань вібраційної плити зменшується.

На самому початку вібраційного процесу ущільнення у разі зміни відносної щільності ε від 0 до 0,25 відбувається збільшення амплітуди коливань A вібраційної плити з 1,41 до 1,45 мм при $H = 50$ мм та з 1,22 до 1,26 мм при $H = 60$ мм.

Для шарів висотою 80, 100 і 120 мм збільшення амплітуди коливань A вібраційної плити відбувається при відносній щільності ε в діапазоні від 0 до 0,5 з 1,02 до 1,06 мм при $H = 80$ мм; з 0,92 до 0,95 мм при $H = 100$ мм і з 0,85 до 0,86 мм при $H = 120$ мм. У разі висоти шару $H = 150$ мм амплітуда коливань становить 0,78 мм в діапазоні ε від 0 до 0,5.

У разі подальшого ущільнення полімерного бетону зазначеного складу і збільшення відносної щільності ε від 0,5 до 1 при значеннях висот H шарів 50, 60, 80 і 100 мм відбувається значне зменшення амплітуди коливань A вібраційної плити відповідно до 0,25, 0,31, 0,41 і 0,49 мм. Для шарів висотою 120 і 150 мм амплітуда коливань A вібраційної плити зменшується до 0,53 і 0,55 мм відповідно.

Одним з основних параметрів, що визначає напружено-деформований стан ущільнюваних шарів і, як наслідок, якість одержуваних полімербетонних композицій, є характер розподілу технологічних напружень по висоті H ущільнюваного шару.

На рис. 2–7 наведено графіки зміни напружень σ за висотою ущільнюваного шару H . Для побудови цих графіків використовувався теоретичний вираз (4). Висота ущільнюваних шарів H дорівнювала 50, 60, 80, 100, 120 і 150 мм.

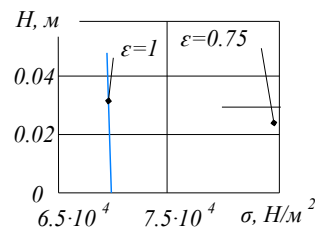


Рисунок 2 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 50$ мм

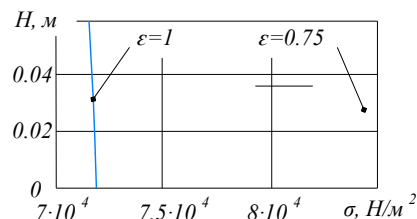


Рисунок 3 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 60$ мм

Дотримуючись методики визначення напружень, наведеної в роботі [12], кожен шар висотою H розбивався на ряд проміжних значень. Наприклад, для висоти шару $H = 150$ мм для кожної відносної деформації ε визначалися значення напружень за проміжними значеннями висоти, тобто для $x = 0, 20, 40, 60, 80, 120$ і 150 мм.

Значення відносної щільності ε дорівнювали 0, 0,25, 0,5, 0,75 і 1. Значення кутової координати ωt приймалися в межах від 0° до 270° . Значення напружень визначалися для кожного значення проміжної висоти x і відносної щільності ε через

кожні 10° , тобто для значень кутової координати $\omega t = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ \dots 270^\circ$. З отриманого ряду числових значень напружень вибиралися найбільші значення одного знаку.

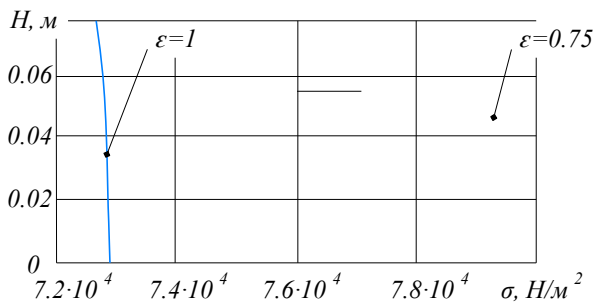


Рисунок 4 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 80$ мм

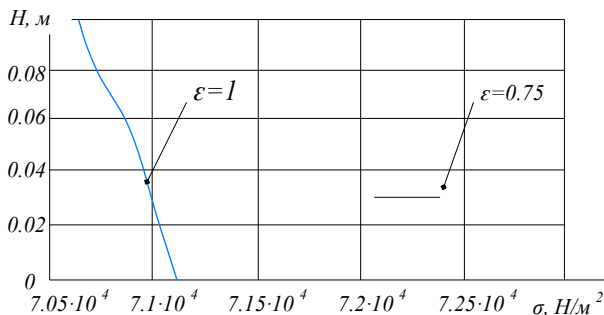


Рисунок 5 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 100$ мм

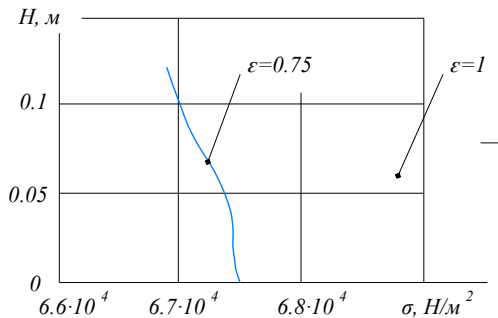


Рисунок 6 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 120$ мм

Аналіз наведених на рис. 2–7 графіків свідчить про те, що у разі поверхневого вібраційного ущільнення на величину і характер розподілу напружень σ у шарах полімерного бетону значною мірою впливає амплітуда коливань A вібраційної плити та відносна щільність ε ущільнюваного полімерного бетону. Амплітуда напружень σ має найбільші значення у верхніх шарах полімерного бетону, які розташовуються

в безпосередній близькості до джерела збудження. При цьому для прийнятого вібраційного режиму суттєвого зменшення величини напружень по висоті H шару у разі віддалення від джерела збудження не відбувається для всіх досліджуваних висот.

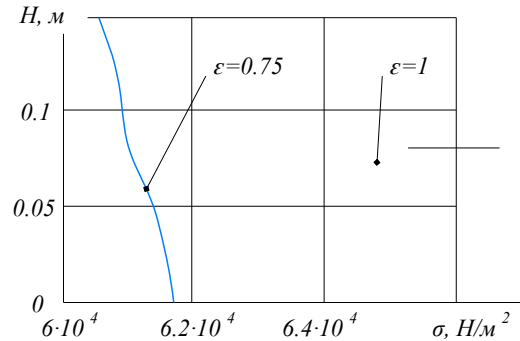


Рисунок 7 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 150$ мм

З графіків витікає, що для ущільнюваних полімербетонних виробів з висотами 50, 60, 80 і 100 мм зі збільшенням відносної щільності ε від 0 до 0,75 відбувається збільшення величини напружень. При відносній щільності $\varepsilon = 1$ значення амплітуди напружень зменшується для кожного значення проміжної висоти x_i . Це пояснюється тим, що для зазначених висот H амплітуда коливань A вібраційної плити зменшується більш інтенсивно залежно від відносної щільності ε , що й показано на рис. 1.

У разі ущільнення виробів, які мають висоту 120 і 150 мм, зі збільшенням відносної щільності ε амплітуда напружень зростає і досягає максимального значення у разі $\varepsilon = 1$. Це пояснюється тим, що для значних висот ущільнюваних виробів амплітуда коливань A вібраційної плити хоч і має менші числові значення, проте із зростанням відносної щільності ε зменшується значно менше (рис. 1).

В результаті проведених теоретичних досліджень динамічної системи «вібраційна плита – полімерний бетон» отримано аналітичні вирази для визначення закону зміни напружень, які виникають в ущільнюваному шарі полімерного бетону під час його деформування поверхневим вібраційним робочим органом. Знайдені залежності дозволяють з достатнім ступенем точності визначити характер зміни напружень по висоті напівфабрикату залежно від фізико-механічних характеристик полімерного бетону, що ущільнюється, і прийнятого режиму вібраційного впливу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Minaev O. P. Russian methods and equipment for spatial vibrocompaction foundations and structures. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*. 2015. Vol. 2. Is. 80. Pp. 2747–2750. DOI: 10.3208/jgssp.TC305-11
2. Маслов А. Г., Савелов Д. В. Вибрационный прокол грунтов. Кременчук : КрНУ, 2019. 102 с.
3. Маслов А. Г., Савелов Д. В. Теоретические исследования процесса взаимодействия вибрационной головки грунтопрокалывающей установки с грунтом. *Зб. наук. пр. Кіровоградського державного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація»*. Вип. 13. Кіровоград : КДТУ, 2003. С. 26–32.
4. Maslov A., Janar Batsaikhan. The research of the parameters of a vibration machine for composite materials compaction. *MATEC Web of Conferences*. 2018. 224, 02099. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822402099>
5. Maslov O., Janar Batsaikhan, Salenko Yu. The Theory of Concrete Mixture Vibratory Compacting. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7 (3.2), pp. 239–244. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14411
6. Bogomolov V., Zhdanyuk V., Tsynka A., P. G. Viscoelastic structural model of asphalt concrete. *Автомобильный транспорт*. 2016. Вып. 2016. С. 117–123.
7. Свідерський А. Т. Дослідження динаміки вібраційної машини із урахуванням напружено-деформованого стану пружно-пластичного середовища. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2013. Вип. 3 (71). С. 41–45.
8. Paul Khosla N., Sadasivam S. Evaluation of the effects of mixture properties and compaction methods on the predicted performance of superpave mixtures. Civil Engineering North Carolina State University. 2002. Vol. 10. P. 166.
9. Savelov D., Puzyr R., Markevich A. Peculiarities of vibrational press dynamics with hard-elastic restraints in the working regime of metal powders molding. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 2. Pp. 67–74.
10. Maslov A., Savielov D., Vakulenko R. Theoretical determination of the law of motion of vibrating plate at surface compaction of polymer concrete. *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. 2021. Випуск 1 (56). С. 5–11.
11. Маслов О. Г., Савелов Д. В. Теоретичне визначення закономірності зміни напружень, які виникають у полімерному бетоні при його ущільненні вібраційною плитою. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2021. Вип. 4/2021 (129). С. 135–141 <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.4.135-141>
12. Maslov O., Savielov D., Salenko Y., Javadova M. (2022) Theoretical Study of the Dynamic System “Vibration Platform – Polymer Concrete” Stress-Strain State. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds.) *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 181. Springer, Cham. Pp. 191–201. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_19

THE RESEARCH OF THE NATURE OF THE STRESS DISTRIBUTION OVER THE HEIGHT OF A SEMI-FINISHED POLYMER CONCRETE PRODUCT DURING ITS SURFACE VIBRATION COMPACTION

Dmytro Savielov

Associate Professor at the Department “Mechanical engineering”

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, 39600, Ukraine, dvsavelov@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5170-9621

Purpose. Based on a thorough analysis of the scientific and technical literature, it is established that for the mass production of quality materials and products from polymer concrete compositions, the most effective will be a vibration method of sealing, which means that when they are received, the vibrating working bodies of the forming technological equipment will interact with the polymer concrete mass. The purpose of these researches is a theoretical study of the nature of stress changes in the height of the compacted layer of polymer concrete during its surface vibration compaction. **Methodology.** For the theoretical determination of the nature of the interaction of the surface vibrating working body with polymer concrete, the study of the dynamic system “vibration plate – polymer concrete” was performed. In this dynamic system, compacted polymer concrete is presented in the form of a system with distributed parameters, which takes into account the action of elastic and dissipative resistance forces acting from the polymer concrete side when it is deformed on a vibrating working body. **Results.** In accordance with the accepted rheological model of polymer concrete for the uniaxial stress condition, the dependence in the individual derivatives between the stress and the deformation of the polymer concrete is proposed, the nature of which depends on the dynamic modulus of elastic deformation, the dynamic modulus of Maxwell’s elastic deformation and the coefficient of dynamic viscosity. A wave equation of oscillation is proposed, which describes the propagation of elastic-viscous deformation waves in polymer concrete deformed by a surface vibrating working body. To solve the wave equation of oscillations, boundary conditions are drawn. The first boundary condition describes the interaction of a surface vibrating working body with a compacted concrete. The second boundary condition implies that the displacement of the sealed layer of polymer concrete at a certain distance from the surface of the vibrating

working body is zero. We find constant integrations (complex amplitudes) that satisfy the accepted boundary conditions. **Originality.** As a result of substituting the expression that describes the law of motion of the vibrating plate in the operating mode into the dependence between stress and deformation for the conditions of the uniaxial stress state, the law of stress changes that occur in the compacted layer of polymer concrete was found. The law obtained in this way made it possible to determine stress changes not only in the base and on the surface of the compacted polymer concrete product, but also in its layers, depending on the selected parameters of vibration exposure. **Practical value.** The found dependences allow to determine with a sufficient degree of accuracy the nature of the change in stress on the height of the semi-finished product depending on the physical and mechanical characteristics of the polymeric concrete to be compacted and the accepted mode of vibration.

Key words: vibration plate, polymer concrete, vibrations, stress, deformation.

REFERENCES

1. Minaev, O. P. Russian methods and equipment for spatial vibrocompaction foundations and structures. Japanese Geotechnical Society Special Publication. 2015. Vol. 2. Is. 80. Pp. 2747–2750. DOI: 10.3208/jgssp.TC305-11 [in English]
2. Maslov, A. G., Savielov, D. V. (2019). Vibracionnyi prokol gruntov [Vibration puncture of soils]. Kremenchuk. 102 p. [in Ukrainian]
3. Maslov, A. G., Savelov, D. V. (2003). “Theoretical studies of interaction process of the soil-piercing installation vibration head with the soil”, *Academic Journal Series of Kirovograd State Technical University “Machinery in Agricultural Production, Industrial Machine Building, Automation”*. (Vol. 13, pp. 26–32). Kirovograd : KSTU. [in Ukrainian]
4. Maslov, A., Janar, Batsaikhan. The research of the parameters of a vibration machine for composite materials compaction. MATEC Web of Conferences. 2018. 224, 02099. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822402099> [in English]
5. Maslov, O., Janar, Batsaikhan, Salenko, Yu. The Theory of Concrete Mixture Vibratory Compacting. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7 (3.2), pp. 239–244. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14411 [in English]
6. Bogomolov, V., Zhdanyuk, V. A., Tsynka, P. G. (2016). “Viscoelastic structural model of asphalt concrete”. *Road transport*, pp. 117–123. [in Ukrainian]
7. Sviderskii, A. T. (2013). Investigation of the vibrating machine dynamics taking into account the stress-strain state of an elastic-plastic medium. *Vibrations in Engineering and Technology*. (Vol. 3 (71), pp. 41–45). [in Ukrainian]
8. Paul Khosla, N., Sadasivam, S. Evaluation of the effects of mixture properties and compaction methods on the predicted performance of superpave mixtures. *Civil Engineering North Carolina State University*. 2002. Vol. 10. P. 166. [in English]
9. Savelov, D., Puzyr, R., Markevich, A. Peculiarities of vibrational press dynamics with hard-elastic restraints in the working regime of metal powders molding. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 2. Pp. 67–74. [in English]
10. Maslov, A., Savielov, D., Vakulenko, R. (2020). Teoretichne viznachennya zakonu ruhu vibracijnoi pliti pri poverhnevomu ushchil'neni polimernogo betonu [Theoretical determination of the law of motion of vibrating plate at surface compaction of polymer concrete]. *Transactions of National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*. Poltava : Issue 1 (56). 2021. Pp. 5–11. [in Ukrainian]
11. Maslov, A. H., Savelov, D. V. (2021). Teoretichne viznachennya zakonovidnosti zmini napruzhen', yaki vinikayut' u polimernomu betoni pri jogo ushchil'neni vibracijnoyu plitoyu [Theoretical definition of the law of stress changes that occur in polymer concrete when it is compacted by a vibrating plate]. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, KRNU*, Issue 4/2021 (129). – Pp. 135–141 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.4.135-141>
12. Maslov, O., Savielov, D., Salenko, Y., Javadova, M. (2022) Theoretical Study of the Dynamic System “Vibration Platform – Polymer Concrete” Stress-Strain State. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 181. Springer, Cham. Pp. 191–201. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_19 [in English]

Стаття надійшла 13.03.2022

ВРАХУВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ ТА ГЕОМОРФОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ПІДЗЕМНУ ГІДРОСФЕРУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ ТЕПЛОНАСОСНИХ СИСТЕМ

Олексій Зур'ян

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України, вул. Гната Хоткевича, 20А, Київ, Україна, 02000;

ORCID: 0000-0002-2391-1611

Мета. Визначити зміни гідрологічних параметрів свердловини, якою розкрито водоносний горизонт, під впливом природних та урбаністичних процесів, які можуть негативно впливати на ефективність роботи гідротермальної теплонасосної системи. **Методологія.** Визначено комплекс параметрів, що визначають факт існування техногенного навантаження на підземну гідросферу. Розроблено та сконструйовано експериментальну гідротермальну теплонасосну систему, яка складається з теплового насоса та двох свердловин, через які забезпечується циркуляція води від підземного горизонту до теплового насоса. Розроблена інтерактивна система диспетчеризації на базі програмного продукту ESM (Engineering Systems Manager). **Отримані результати.** Експериментально встановлено, що побудова житлового кооперативу в межах якого розташована ділянка проведення досліджень, змінила природні гідрогеологічні умови верхніх водоносних горизонтів. Крім того, будівництво багатопверхових будівель, асфальтування доріг, створення каналізаційної сіті та організація поверхневого стоку зменшили інфільтрацію атмосферних опадів, а значить і умови живлення верхнього водоносного горизонту. Встановлено, що безпосередньо в районі житлового комплексу, в межах якого розташована ділянка проведення досліджень, водоносний горизонт виходить на денну поверхню на відстані 100 метрів від місця розташування свердловин. У цих місцях спостерігається гідравлічний зв'язок горизонту з поверхневими водоймами, що розташовані на дні балок, а живлення горизонту здійснюється безпосередньо за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. **Оригінальність.** Вперше проведені комплексні натурні експериментальні дослідження ефективності гідротермальної теплонасосної системи від геоморфологічних умов ділянки де встановлені гідротермальні зонди та антропогенного впливу на водоносний горизонт урбосистеми в місті розташування ГідроТС. **Практична цінність.** Отримані експериментальні та розрахункові данні можуть бути використані при проектуванні даних пристроїв та систем відбору первинної теплової енергії. **Висновки.** Проведені дослідження підтвердили, що ґрунтові води є ефективним джерелом низькопотенціального тепла для теплових насосів, оскільки їх температура протягом всього року знаходиться в діапазоні від +8 до +12 °С. Обґрунтовано, що під час проектування гідротермальних теплонасосних установок необхідно враховувати, що на ділянках, де перепади висот рельєфу є близькими за розміром з глибиною залягання продуктивного водоносного горизонту коефіцієнт трансформації теплонасосної системи може суттєво відрізнятися від розрахункового. Тому для ефективного використання водоносного горизонту як природного акумулятора теплової енергії необхідно проведення попередніх гідрогеологічних досліджень та якісне вивчення як існуючого антропогенного навантаження так і геоморфологічних, геологічних та гідрогеологічних параметрів ділянки проведення бурових робіт.

Ключові слова: гідросфера, водоносний горизонт, свердловина, урбосистема, забруднення, моніторинг.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Вода є одним з найцінніших природних скарбів, адже без неї неможливе органічне життя на землі, їй належить одна з головних ролей у життєдіяльності людини. В наш час кардинально змінилася екологічна ситуація у світі, проявився дефіцит водних ресурсів, пов'язаний з їх виснаженням та забрудненням [1].

Характер режиму взаємозв'язку поверхневих та підземних вод у природних умовах у найбільшому ступені відповідає вимогам його динамічно стійкого стану. Разом з тим на режимі взаємозв'язку поверхневих та підземних вод

сильно відображається антропогенний вплив. Тому відхилення від природного режиму та його порушення створює загрозу несприятливих екологічних змін [2].

Значний ступінь забруднення компонентів геологічного середовища, передусім, ґрунтів в межах територій з великим техногенним навантаженням, створює передумови масштабного негативного впливу на суміжні компоненти геологічного середовища, у тому числі і підземні води. Найбільш інтенсивного забруднення зазнають практично незахищені води ґрунтового водоносного горизонту.

До цього слід додати, що ґрунтові води є джерелом можливого забруднення і більш глибоко залягаючи водоносних горизонтів, у тому числі міжпластових [3].

В останні роки, завдяки використанню теплових насосів, все більшого практичного значення набуває використання відновлюваної низькопотенційної енергії приповерхневих шарів Землі на глибинах від 20 до 300 м. Її використання для теплопостачання окремих будинків, виробничих приміщень, теплиць та інших об'єктів стає економічно вигідним і зручним.

У кліматичних та географічних умовах України одним з перспективних напрямків використання відновлюваної енергетики є застосування гідротермальних теплонасосних систем (ГідроТС).

Для отримання необхідної первинної енергії для роботи теплового насоса в ГідроТС використовуються системи відбору низькопотенціальної теплової енергії, які складаються з гідротермального теплообмінника, встановленого в водойму, або водоносний горизонт, в якому по замкнутому контуру циркулює теплоносії. При цьому система відбору низькопотенціальної теплової енергії води підземних горизонтів технологічно складається з одної, або декількох пар свердловин (видобувної та поглинальної) якими розкрито водоносний горизонт на глибинах до 300 м [4].

Використання низькотемпературної геотермальної енергії малих глибин (до 300 м) можна розглядати як справжню революцію в системі теплозабезпечення. За останні 20 років в світі було науково обґрунтовано та розроблено технологію та побудовано велику кількість діючих систем теплопостачання на теплових насосах.

Питанням досвіду використання теплонасосних систем в Україні та світі, де в якості первинного джерела енергії використовується низькопотенційна енергія приповерхневих шарів Землі, присвячена велика кількість досліджень. Аналіз ефективності використання теплового потенціалу перших від поверхні водоносних горизонтів та верхніх шарів Землі для тепло- і холодопостачання приведено в роботах [5; 6; 7; 8]. Аналіз гідрогеологічних і геотермічних характеристик геотермальних об'єктів України виконано в роботі [9]. Проводяться активні науково-дослідницькі роботи з вивчення фізичних особливостей та енергетичної ефективності акумулювання тепла та холоду шляхом використання води підземних горизонтів [10; 11]. З появою великою кількості малих геотермальних теплонасосних

систем що використовуються для кондиціонування та теплозабезпечення в приватних домогосподарствах були розпочаті дослідження щодо можливого екологічного впливу як на водні ресурси та ґрунти в зоні розташування даних об'єктів та проведення водного екологічного моніторингу [12; 13; 14]. Розроблена методологія оцінювання екологонебезпечних ризиків функціонування техногенно-змінених водних екосистем [15].

Основна відмінність теплового насоса від інших перетворювачів відновлюваної енергії полягає в тому, що при виробництві тепла до 80 % енергії витягується з навколишнього середовища (для гідротермальних систем – води відкритих водойм або водоносних горизонтів). Однак така система має і недоліки, які визначаються суттєвою залежністю її ефективності від стабільності дебіту свердловини та температури води на її гирлі.

Водоносний горизонт є високоефективним джерелом відновлюваної низькопотенціальної енергії, однак при проектуванні таких систем важливо враховувати не тільки особливості геологічної будови гірського масиву, а і вплив на водоносний горизонт потенційного техногенного навантаження у місці розташування свердловин ГідроТС (зміни мінерального складу води, статичного та динамічного рівня свердловини, та особливо температури води).

Тому, з урахуванням того, що природній водоносний горизонт є складовою частиною технічного пристрою (теплового насосу ГідроТС), актуальною науково-технічною задачею є дослідження техногенного навантаження ГідроТС на довкілля у тісному взаємозв'язку з аналізом зворотнього впливу техногенно-зміненого навколишнього середовища урбанізованих територій на параметри первинного джерела енергії для ефективної роботи ГідроТС, та створення екологічно, технічно та економічно обґрунтованих методик проектування ГідроТС та технічних пристроїв відбору первинної теплової енергії з урахуванням існуючого техногенного навантаження на водоносний горизонт.

Метою роботи є шляхом аналізу експериментально отриманих даних річних, сезонних та добових змін температури води у водоносному горизонті, та температури повітря у міжтрубному просторі визначити зміни гідрогеологічних параметрів свердловини, якою розкрито водоносний горизонт, під впливом природніх та урбаністичних процесів, які можуть негативно впливати на ефективність роботи гідротермальної теплонасосної системи.

Відповідно до поставленої мети дослідження мають бути вирішені такі завдання: по-перше – проведення експериментальних досліджень річних, сезонних та добових змін температури води у водоносному горизонті та у міжтрубному просторі свердловини змонтованої у густозаселеній урбаністичній території м. Києва; по-друге, визначення відсоток падіння ефективності гідротермальної теплонасосної системи при нестабільних вхідних параметрах пов'язаних з перепадами температури на вході до випарника ГідроТС, що застосовується для опалення та кондиціонування будівель та споруд для комфортного перебування людей та роботи техніки, в зоні техногенно-змінних водних екосистем; по-третє – запропонувати конструкції систем відбору низькопотенціальної енергії води для умов нестабільних параметрів первинного відновлюваного джерела тепла в районі техногенно-навантажених урбосистем.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для проведення досліджень теплових і гідродинамічних процесів, що відбуваються в продуктивному водоносному пласті під час освоєння низькопотенціальної енергії підземних вод верхніх водоносних горизонтів, в Інституті відновлюваної енергетики НАН України на прибудинковій ділянці корпусу 2, що розташований за адресою вул. Метрологічна буд. 50, було створено експериментальну систему видобування гідротермальних джерел енергії типу ГЦС (гідротермальна циркуляційна система).

Експериментальна установка є теплообмінним пристроєм, який складається із двох свердловин (№ 1 та № 8), поєднаних трубопроводами для циркуляції підземних вод між водоносним горизонтом та будівлею Інституту.

Свердловина № 1 була пробурена до глибини 57 м та розкрила водоносний горизонт у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену (полтавська і харківська серії). Складається горизонт з дрібно-зернистих пісків, що залягають в інтервалі глибин 34–57 м.

Свердловина № 8 була пробурена на відстані 11,5 м від свердловини № 1. Глибина свердловини – 50 м. Продуктивний водоносний горизонт відкладень межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену у свердловині № 8 розташований на глибині 32–50 м. У обох свердловинах на водопідйомних трубах встановлені насоси. У свердловині № 1 – 2 м³/год, у свердловині № 8 – 3 м³/год.

З метою проведення дослідження теплового режиму гідротермальної теплонасосної системи

як без навантаження, так і під час роботи на кондиціонування та опалення приміщень будівлі експериментальну систему видобування геотермальних джерел енергії нами було поєднано до теплового насосу типу вода-вода та фанкойлів. Разом вони складають експериментальну гідротермальну теплонасосну систему (рис. 1).

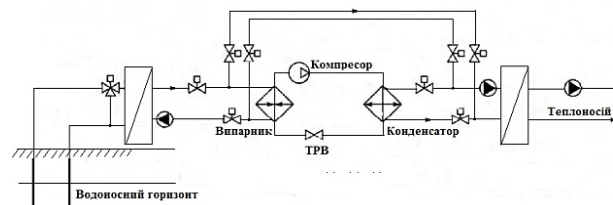


Рисунок 1 – Експериментальна гідротермальна теплонасосна система Інституту відновлюваної енергетики НАН України

Склад експериментальної гідротермальної теплонасосної системи: геотермальна циркуляційна система (складається з двох свердловин з насосним обладнанням); акумулятор низькопотенціальної теплової енергії ємністю 5 м³; акумулятор теплової енергії системи опалення будівлі ємністю 3 м³ (складається з трьох теплоізованих ємностей по 1 м³); теплового насосу типу вода-вода. В даний час в системі використовується один тепловий насос типу вода-вода потужністю 5 КВт вода.

В геолого-структурному відношенні ділянка дослідження розташована в межах північно-східного пологого схилу Українського щита, що занурюється під область Дніпровсько-Донецької западини. Товща порід має двоповерхову будову: нижній поверх – кристалічний фундамент, що складається з кристалічних і метаморфічних порід докембрію, верхній – чохол, складений осадовими породами палеозойського, мезозойського і кайнозойського віку, потужністю до 400 м.

В геоморфологічному відношенні ділянка експериментальної установки розташована на території останця київського лесового плато, який обмежений із заходу – Новосілецькою, з півдня – Хотівською і зі сходу – Феофаніївською балками. Абсолютні позначки дна балок змінюються від 125 до 150 м. З півночі останець з'єднується з основним масивом Київського лесового плато.

На дні балок розташовані водотоки з озерами, що мають непостійний характер, який на пряму залежить від кількості атмосферних опадів. На дні Феофаніївської балки розміщується серія Паладинських ставків.

За своєю формою останець уявляє собою «язик» (рис. 2), довжина якого (напрямок з півночі на південь) приблизно складає 1,5 км, а ширина (напрямок із заходу на схід) – 1 км. Рельєф «язика» досить плоский. Абсолютні позначки поверхні змінюються від 189 до 175 м, вододіл проходить уздовж шосейної дороги (вул. Метрологічна). Ухил правого крила становить 0,02, лівий схил більш крутіший.

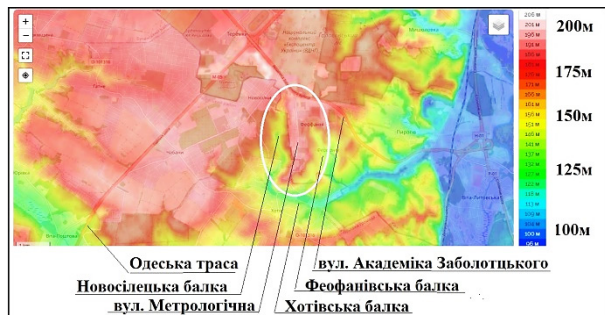


Рисунок 2 – Карта-схема висот в місті ділянки дослідження в місті розташування експериментальної гідротермальної теплонасосної системи Інституту відновлюваної енергетики НАН України (м. Київ, вул. Метрологічна 50)

Гідрогеологічна будова ділянки дослідження досить детально вивчена завдяки численним буровим роботам, що були тут проведені.

Гідрогеологічний розріз за результатами буріння від земної поверхні в глибину представлений наступними водоносними горизонтами і водотривкими шарами:

1. Алювіально-делювіальні відклади першої надзаплавної тераси складається щільними (середня щільність порід – $1,6 \text{ г/см}^3$) піщанистими суглинками з включенням гравію і гальки, іноді з прошарками і лінзами піску. Водозбагаченість горизонту невисока, у складі водовмісних порід переважають пилюваті і глинисті фракції. Залягає горизонт на глибині від 8 до 12 м, має сезонний характер і дуже залежить від кількості атмосферних опадів, що випадають на місцевості.

2. Водоносний горизонт у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену (Полтавська і харківська серії). Шари водовмісних відкладень не обмежені між собою водоупорами, гідравлічно пов'язані і розглядаються як єдиний водоносний горизонт. Горизонт відокремлюється від першого шаром строкатих глин неогенового віку, товщина якого досягає 20 м. Покрівля горизонту знаходиться на глибині 32 м, а підосва – 50 м. Складається

горизонт з сірого дрібнозернистого піску з прошарками алевритів і глин. Статичні рівні встановлюються на глибині 48–49 м. Горизонт безнапірний, тобто рівень води знаходиться нижче кривлі горизонту, верхня частина товщі горизонту суха. Водозбагаченість горизонту слабка, що пояснюється малою водовіддачею дрібнозернистих пісків полтавської свити. На дослідній ділянці приплив підземних вод з полтавського горизонту під час відкачки у процесі буріння склав 2–3 л/с з відповідним зниженням рівня на 6–7 м.

3. Бучаксько-канівський водоносний горизонт залягає на глибині від 90 до 117 м, складається з мілкого та дрібнозернистого піску. Горизонт сильно виснажений через активне використання його для водопостачання і для господарських цілей. Статичні рівні встановлюються на відмітках 96 м, тобто верхня частина горизонту суха. Горизонт безнапірний. Відокремлюється від другого потужною (до 35 м) товщею строкатих глин неогену.

Для експериментальної гідротермальної енергетичної теплонасосної системи відкритого типу продуктивним є полтавський водоносний горизонт.

У плані горизонт має повсюдне поширення. Згідно гідрогеологічної карти, площа розповсюдження горизонту перевищує десятки км^2 . Абсолютні позначки підосви горизонту становлять 127–131 м. Покрівля горизонту розміщується на відмітках 150–165 м. Спостерігається незначне занурення горизонту в південному напрямку (4 м на 700 м).

Зверху і знизу горизонт ізолюваний пластами водотривких глин. Товщина верхнього шару глин складає 20 м, нижнього – перевищує 35 м. Через верхній шар глин відбувається часткова фільтрація води з першого водоносного горизонту в продуктивний. Кількісно величина перетікання встановлена не була. Однак середньорічна величина живлення першого водоносного горизонту за рахунок інфільтрації атмосферних опадів склала 5,2 см.

Зазначимо, що побудова житлового кооперативу «Кришталеві джерела», в межах якого розташована ділянка експериментальної установки, дуже змінила природні гідрогеологічні умови верхніх водоносних горизонтів. Площа останця була значно збільшена шляхом насипання штучного ґрунту, як зверху (1,5–2 м), так і в ширину до 100–150 м. Крім того, будівництво багатоповерхових будівель, асфальтування доріг, створення каналізаційної сіті та організація поверхневого

стоку однозначно зменшили інфільтрацію атмосферних опадів, а значить і умови живлення верхнього водоносного горизонту. Тому можна припустити, що величина перетікання підземних вод з першого горизонту може бути значною.

Крім того у Новоселицькій та Феофаніївській балках полтавський водоносний горизонт розкритий ерозією і виходить на денну поверхню. Таким чином, безпосередньо в районі житлового кооперативу «Кришталеві джерела» на прибудинковій ділянці корпусу 2 Інститут відновлюваної енергетики НАН України, що розташована за адресою вул. Метрологічна буд. 50, де знаходиться експериментальна система видобування гідротермальних джерел енергії, Полтавський водоносний горизонт виходить на денну поверхню на відстані 100 метрів від місця розташування свердловин. А за 300 метрів від свердловин на дні балки розташоване озеро. Перепад висот між гирлом свердловини та дном балки де розташоване озеро складає 40 метрів (рис. 3).

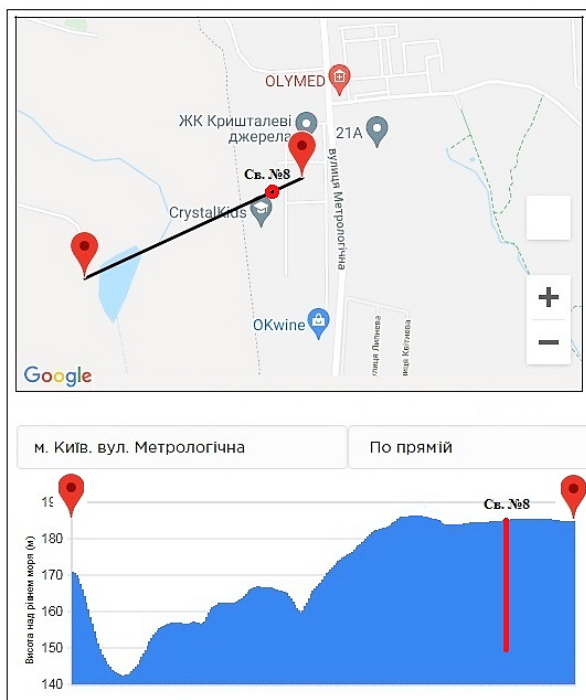


Рисунок 3 – Перепад висот між гирлом свердловини та озером (Витяг з електронного ресурсу «Карти висот над рівнем моря» <https://qrz.pp.ua/vysota>)

У цих місцях спостерігається гідравлічний зв'язок горизонту з поверхневими водоймами, що розташовані на дні балок.

Живлення горизонту здійснюється безпосередньо за рахунок інфільтрації атмосферних опадів.

Потік вод спрямований від вододілу на захід до Новоселицької балки.

Там, де строкаті глини неогену розмиті, здійснюється перелив ґрунтових вод першого водоносного горизонту в продуктивний горизонт. Живлення полтавського водоносного горизонту здійснюється за рахунок перетікання ґрунтових вод через товщу глин.

Відповідно до поставленого завдання дослідження для вимірювань температури у свердловині та в контрольних точках системи були встановлені датчики температури (термоперетворювачі опору) ТСП-204. Термоперетворювачі опору ТСП-204 внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки України за номером У246-07. Робочий діапазон вимірюваних температур від -40 до $+270$ °С, показник теплової інерції не більше 6–8 с.

Датчики температури встановлені у свердловину на глибину: 42 м, 39 м, 34 м, 29 м.

З урахуванням особливих умов проведення вимірювань у свердловині (підвищену вологість та велику глибину) та необхідність розміщення до восьми датчиків на одній косі було використано провід з восьма жилами та металевим екраном типу $4 \times 2 \times 0,51$ (SF/UTP-cat.5E). Також місця можливого контакту проводу з водою було ізольовано у прорезинений кожух, а місця пайки контактів датчика температури (термоперетворювачами опору) залито епоксидною смолою (рис. 4).



Рисунок 4 – Термоперетворювач опору з грузилом поєднаний до проводу $4 \times 2 \times 0,51$ (SF/UTP-cat.5E)

Для збору даних з вимірювальних пристроїв було використано контролер MAXYCON FLEXY (рис. 5) поєднаний до персонального комп'ютера через шлюз USB і RS-485, що призначено для прийому, перетворення і передачі цифрової інформації між цифровими лініями по інтерфейсу RS-485 та протоколу Modbus-RTU. Інфор-

мація з датчиків знімалася автоматично з часовим інтервалом в п'ять секунд.

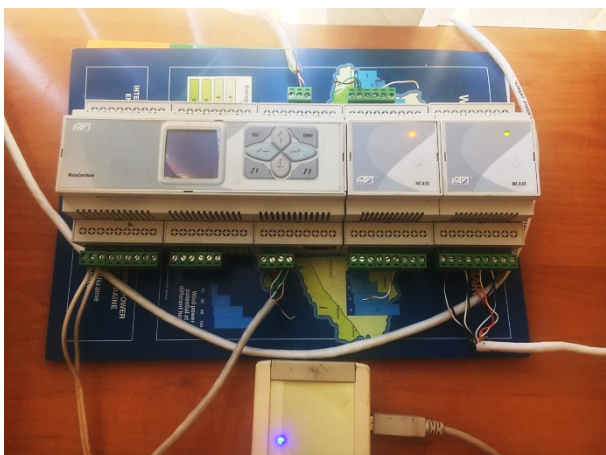


Рисунок 5 – Зображення контролера MAXYCON FLEXY разом з блоками розширення та перетворювачем інтерфейсів RS 485/USB експериментальної гідротермальної теплонасосної системи IBE HAHY

За допомогою розробленої інтерактивної системи диспетчеризації на базі програмного продукту ESM (Engineering Systems Manager) з використанням мови програмування FBD (Function Block Diagram|Continuous Function Chart) було забезпечено збір даних з вимірювальних пристроїв з подальшою обробкою та запису в архів для їх інтерпретації та виведення на монітор комп'ютера програмою візуалізації в реальному часі. Контролер MAXYCON FLEXY разом з блоками розширення має можливість знімати показники більш ніж з 36 каналів інформації, а розроблене спеціальне програмне забезпечення використовується також для дистанційно керування системою як в автономному, так і ручному режимі.

Запроваджена в IBE HAHY автоматизована комп'ютерна система моніторингу забезпечила системність вимірювань, їх високу точність та дискретність – від 10 до 5 с.

Прийнятий інтервал часу запису даних (10 до 5 с) надає можливість дослідження добової динаміки температурних показників.

Важливо підкреслити, що вивчення режиму підземних вод за допомогою розташованих в свердловинах датчиків високої чутливості і відносно високою частотою зчитування даних дозволяє отримати якісно нову інформацію про періодичність гідрогеодинамічних і фізико-хімічних процесів.

Аналіз накопичених за період спостережень з жовтня 2021 року по лютий 2022 року даних

температури повітря та води в свердловині виявив наявність їх спрямованого зменшення.

За період спостережень денна девіація температури води в свердловині складала від $0,3^{\circ}$ до $0,9^{\circ}\text{C}$.

Відхилення від лінійного тренда температур води в свердловині дозволяють припустити наявність річної компоненти в варіаціях цих характеристик. Прямий кореляційний зв'язок між варіаціями температур повітря і води в свердловині свідчать про вплив сезонних атмосферних змін температур на глибинах залягання водоносного горизонту (рис. 6).

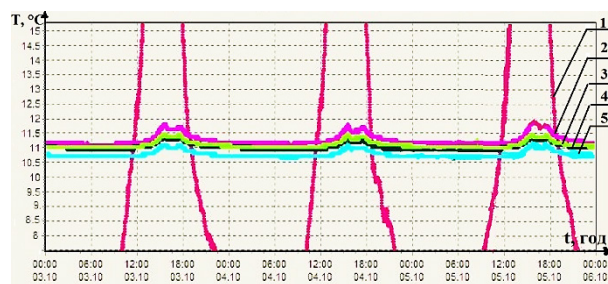


Рисунок 6 – Графік зміни температури повітря в свердловині:

- 1 – температура повітря (0,5 м над землею);
- 2 – температура в свердловині на глибині 39 м;
- 3 – температура в свердловині на глибині 34 м;
- 4 – температура в свердловині на глибині 42 м (1,7 м нижче рівня води в свердловині);
- 5 – температура в свердловині на глибині 29 м

Наявність сезонних варіацій температур підземних вод вказує на те, що зона постійних температур, нейтральний шар, розташована глибше. Характеристики досягають свого максимуму в ранковий і вечірній час з інтервалом, близьким 12 годин.

Зіставлення графіків добової динаміки температур повітря і води (частота замірів – кожні 5 с), показало, що спостерігається синхронний зв'язок між ними протягом доби, а також фазовий зсув від двох до семи годин, в залежності від інтенсивності зовнішнього впливу (рис. 7).

Найчастіше добові коливання температури виявляються при глибинах залягання підземних вод, які не перевищують декількох метрів. Прояв добових варіацій температур водоносного горизонту в відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену може бути обумовлено процесами перетікання ґрунтових вод і скидання їх численними дренажними каналами в пласт-колектор [16]. Що скоріш за все може вказувати на суттєвий техногенний вплив

в межах ділянки дослідження обумовлений інтенсивним будівництвом в межах замкнутої трьома балками території останця Київського лесового плато та особливими геоморфологічними умовами даної місцевості.

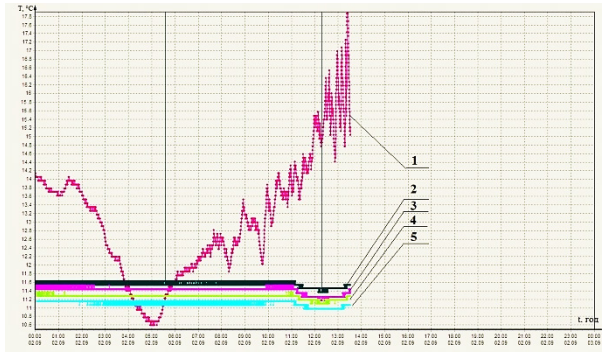


Рисунок 7 – Графік зміни температури повітря та в свердловині:

- 1 – температура повітря (0,5 м над землею);
2 – температура у свердловині на глибині 42 м (на 1,7 м нижче рівня води у свердловині);
3 – температура у свердловині на глибині 39 м; 4 – температура у свердловині на глибині 34 м; 5 – температура у свердловині на глибині 29 м

Експериментально встановлено, що за шість місяців (з жовтня 2021 р. по лютий 2022 р.) температура води в свердловині зменшилася на 2,0 °C, при цьому щоденна девіація температури складала від 0,3 °C до 0,9 °C.

Відповідно до другої поставленої задачі дослідження було проаналізовано ефективність роботи гідротермальної теплонасосної системи при нестабільних вхідних параметрах пов'язаних з перепадами температури на вході до ГідроТС.

Для оцінки енергетичної ефективності теплонасосної установки використовується коефіцієнт трансформації K (перетворення теплоти), який уявляє собою відношення кількості енергії, що генерується тепловим насосом, до кількості енергії, що витрачається на процес перенесення тепла. Чим більший K , тим доцільніше використання теплонасосної установки. Визначається коефіцієнт трансформації за формулою:

$$K = \frac{T_{out}}{T_{out} - T_{in}}, \quad (1)$$

де T_{out} – температура на виході з теплового насоса теплонасосної гідротермальної системи;

T_{in} – температура води, що поступає з водоносного горизонту до теплового насоса гідротермальної теплонасосної системи.

Введемо коефіцієнт k , який визначає відсоток, на який зменшується ефективність роботи гідротермальної системи в залежності від падіння температури природного теплоносія на вході до випарника теплового насоса. Цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$k = \left(1 - \frac{k_i}{k_s}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

де k_i – коефіцієнт трансформації теплонасосної установки при i -тій температурі природного теплоносія на вході до випарника теплового насоса;
 k_s – коефіцієнт трансформації гідротермальної теплонасосної системи при стабільній вхідній температурі природного теплоносія. В нашому випадку стабільна вхідна температура дорівнює 10 °C.

З урахуванням (1), коефіцієнт k набуває значення:

$$k = \left(1 - \left[\frac{T_{i out}}{T_{i out} - T_{i in}} \times \frac{T_{s out} - T_{s in}}{T_{s out}} \right]\right) \times 100\%, \quad (3)$$

де $T_{i out}$ – температура на виході з конденсатору теплового насоса при i -тій температурі природного теплоносія на вході до випарника теплового насоса;

$T_{s out}$ – температура на виході з конденсатору теплового насоса при стабільній температурі природного теплоносія на вході до випарника теплового насоса;

$T_{i in}$ – i -та температура на вході у випарник теплового насоса гідротермальної теплонасосної системи;

$T_{s in}$ – стабільна температура на вході у випарник теплового насоса гідротермальної теплонасосної системи, дорівнює 10 °C.

Відповідно до даних отриманих експериментально: $T_{i out} = T_{s out} = 45$ °C; та $T_{i in} = 8$ °C; $T_{s in} = 10$ °C, ці температури по Кельвіну матимуть значення: $T_{i out} = T_{s out} = 318,15$ K; та $T_{i in} = 281,15$ K; $T_{s in} = 283,15$ K, а співвідношення (3) з урахуванням значень температури прийме вигляд:

$$k = \left(1 - \left[\frac{318,15}{318,15 - 281,15} \times \frac{318,15 - 283,15}{318,15} \right]\right) \times 100\%,$$

а коефіцієнт k , який визначає відсоток, на який зменшується ефективність роботи гідротермальної системи в залежності від падіння температури природного теплоносія на вході до випарника теплового насоса буде дорівнювати:

$$k = 5,4\%$$

Таким чином, ефективність роботи гідротермальної теплонасосної системи при нестабіль-

них вхідних параметрах пов'язаних з перепадами температури на вході до ТН може суттєво змінюватися, що необхідно враховувати при проектуванні даних пристроїв та систем відбору первинної теплової енергії.

Крім того, можливо припустити, що при критичних навантаженнях ГідроТС на водоносний горизонт можливе часткове або тимчасове повне виснаження гідротермального теплового потенціалу. Авторами патенту України [17] запропонована конструкція системи відбору низькопотенціальної енергії води для умов нестабільних параметрів первинного відновлюваного джерела тепла в районі техногенно-навантажених урбо-систем. В основу поставлено задачу вдосконалення конструкції ґрунтового теплообмінника, що дозволить підвищити його коефіцієнт корисної дії та забезпечити резервування процесу отримання теплової енергії при сезонній зміні кліматичних умов, тимчасових погіршеннях гідрологічних параметрів свердловини пов'язаних з природними або техногенними факторами.

Поставлена задача досягається тим, що універсальний гідротермальний зонд-теплообмінник складається з пари конструктивно однакових теплообмінників. Один теплообмінник монтується у свердловину для забору води з водоносного горизонту, а другий у свердловину для закачування зворотної води у водоносний горизонт. Кожний теплообмінник містить вертикальну обсадну трубу всередині якої встановлена ще одна вертикальна труба меншого діаметра для подачі води, яка з'єднує водоносний горизонт та тепловий насос. А у міжтрубний простір встановлено дві гнучкі труби, з'єднані у верхній частині універсального гідротермального зонду-теплообмінника з входом та виходом теплового насоса, а у нижній частині універсального гідротермального зонду-теплообмінника між собою. Вони обвивають вертикальну трубу для подачі води, при цьому кожний з витків гнучкої труби щільно притиснуті один до одного, до вертикальної труби для подачі води та до стінки обсадної труби.

Суть технічного рішення пояснюється кресленням (рис. 8), на якому зображено схематично універсальний гідротермальний зонд-теплообмінник та його складові частини.

Завдяки поєднанню в універсальному гідротермальному зонді-теплообміннику двох функціонально незалежних принципів відбору низькопотенціальної енергії з відновлюваного джерела енергії, а саме: відбору низькопотенціальної енер-

гії води з водоносного горизонту та відбору низькопотенціальної енергії з приповерхневих шарів ґрунту, забезпечується резервування процесу отримання теплової енергії при сезонній зміні кліматичних умов, тимчасових погіршеннях гідрологічних параметрів свердловини пов'язаних з природними або техногенними факторами.

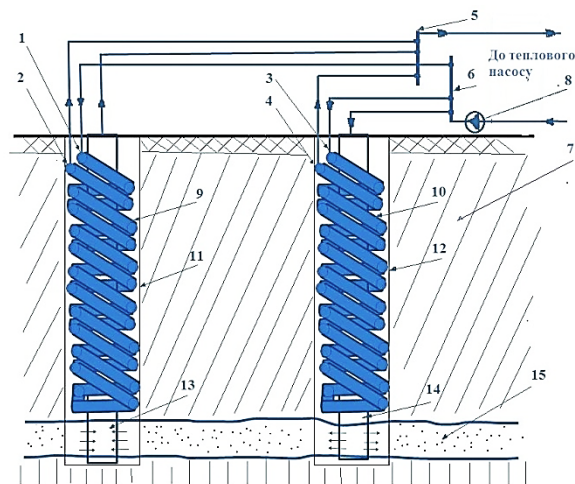


Рисунок 8 – Схема універсального гідротермального зонда-теплообмінника та його складових частин:

- 1 – гнучка труба повернення теплоносія з ТН першого теплообмінника; 2 – гнучка труба подачі теплоносія до ТН першого теплообмінника; 3 – гнучка труба повернення теплоносія з ТН другого теплообмінника; 4 – гнучка труба подачі теплоносія до ТН другого теплообмінника; 5 – гребінку входу ТН; 6 – гребінку виходу ТН; 7 – приповерхніві шари ґрунту; 8 – циркуляційний насос; 9 – свердловину для забору води з водоносного горизонту; 10 – свердловину для закачування зворотної води у водоносний горизонт; 11, 12 – обсадна труба; 13 – вертикальна труба для подачі води з свердловини для забору води з водоносного горизонту; 14 – вертикальна труба для подачі води у свердловину для закачування зворотної води у водоносний горизонт; 15 – водоносний горизонт

ВИСНОВКИ. 1. Підтверджено, що ґрунтові води є ефективним джерелом низькопотенціального тепла для теплових насосів, оскільки їх температура протягом всього року знаходиться в діапазоні від +8 до +12 °С.

2. Експериментально встановлено, що побудова житлового кооперативу в межах якого розташована ділянка проведення досліджень, змінила природні гідрогеологічні умови верхніх водо-

носних горизонтів. А саме площа останця була значно збільшена шляхом насипання штучного ґрунту, як зверху (1,5–2 м), так і в ширину до 100–150 м. Крім того, будівництво багатопверхових будівель, асфальтування доріг, створення каналізаційної сіті та організація поверхневого стоку однозначно зменшили інфільтрацію атмосферних опадів, а значить і умови живлення верхнього водоносного горизонту.

3. Теоретично доведено, що в процесі розвитку техногеннозумовленої водної системи відбувається часткова втрата природоємності за рахунок формування в її межах балансу техноємності.

4. Встановлено, що безпосередньо в районі житлового комплексу, в межах якого розташована ділянка проведення досліджень, Полтавський водоносний горизонт виходить на денну поверхню на відстані 100 метрів від місця розташування свердловин. У цих місцях спостерігається гідравлічний зв'язок горизонту з поверхневими водоймами, що розташовані на дні балок, а живлення горизонту здійснюється безпосередньо за рахунок інфільтрації атмосферних опадів.

5. Обґрунтовано, що під час проектування гідротермальних теплонасосних установок необхідно враховувати, що на ділянках, де перепади висот рельєфу є близькими за розміром з глибиною залягання продуктивного водоносного горизонту коефіцієнт трансформації теплонасосної системи може суттєво відрізнятись від розрахункового.

6. Експериментально підтверджено, що ефективність роботи гідротермальної тепло насосної системи при нестабільних вхідних параметрах пов'язаних з перепадами температури на вході до ТН може суттєво змінюватися, що необхідно враховувати при проектуванні даних пристроїв та систем відбору первинної теплової енергії.

7. Доведено, що для ефективного використання водоносного горизонту як природного акумулятора теплової енергії необхідно проведення попередніх гідрогеологічних досліджень та якісне вивчення як існуючого антропогенного навантаження так і геоморфологічних, геологічних та гідрогеологічних параметрів ділянки проведення бурових робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кошлякова Т. О. Сучасний стан використання питних підземних вод. *Збірник наукових статей III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю*. Вінниця, 2011. Том 1. С. 204–207.

2. Парфенова Н. И., Рыбина Н. Н., Исаева С. Д. Вопросы водоснабжения и техногенного воздействия на режим взаимодействия поверхностных и подземных вод. *ЭКВАТ АТ ЭК-2008 : Материалы конгр. Sibico International Ltd*. 2008. С. 78–85.

3. Люта Н. Г., Саніна І. В. Особливості забруднення геологічного середовища в межах територій значного техногенного навантаження. *Матеріали п'ятої наук.-практ. конф. «Екологічна безпека техногенно-перевантажених регіонів. Оцінка і прогноз екологічних ризиків»*, 7–11 червня 2010 р., Ялта, АР Крим, 2010. С. 16–17.

4. Зур'ян О. В., Олійніченко В. Г. Гідротермальна система отримання теплової енергії, фізичні процеси, ефективність. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. № 4. С. 40–46. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-40-46>

5. Морозов Ю. П. та ін. Енергетична ефективність використання перших від поверхні водоносних горизонтів для тепло- і холодопостачання. Ю. П. Морозов, А. А. Баріло, Д. М. Чалаєв, М. П. Добровольський. *Відновлювана енергетика*. 2019. № 2. С. 70–78. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2\(57\)](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2(57))

6. Lund J., Sanner B., Rybach L., Curtis R., Hellstrom G. Geothermal (ground-source) heat pumps a world overview. *GHC bulletin*. 2004. Vol. 9. Pp. 1–10.

7. Zhu Ke, Blum Philipp, Ferguson Grant, Balke Klaus-Dieter, Bayer Peter. The geothermal potential of urban heat islands. *Environ. Res. Lett.* 2010. no. 5. Pp. 1–6. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/6/1/019501>

8. Zurian O. V. Comparison of efficiency of geothermal and hydrothermal energy systems. *XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Renewable Energy Sources and Clean Tech. Varna, Bulgaria*. 2019. С. 83–90. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/4.1/S17.011>

9. Баріло А. А. Аналіз гідрогеологічних і геотермічних характеристик геотермальних об'єктів України. *Відновлювана енергетика*. 2020. № 1 (60). С. 74–84. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1\(60\).74-85](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1(60).74-85)

10. Малкін Е. С., Кулінко Є. О. Перспективи та аспекти застосування систем теплохолодопостачання, які використовують приповерхневі шари води в якості теплового акумулятора. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2014. № 17. С. 63–69.

11. Морозов Ю. П., Чалаєв Д. М., Олійніченко В. Г., Величко В. В. Експериментальне дослідження добового акумулявання холоду шляхом використання води підземних горизонтів м. Києва. *Відновлювана енергетика*. 2019. № 3. С. 67–77. [https://doi.org/10.36296/1819-058.2019.3\(58\).67-77](https://doi.org/10.36296/1819-058.2019.3(58).67-77)

12. Vienken T., Kreck M. & Dietrich P. Monitoring the impact of intensive shallow geothermal energy use on groundwater temperatures in a residential neighborhood. *Geotherm Energy*. 2019. 7 (1). <https://doi.org/10.1186/s40517-019-0123-x>

13. Ісаєнко В. М., Маджд С. М. Теоретична концепція формування еколого-небезпечних ризиків у процесі розви-

тку техноприродних водних екосистем. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2019. № 1 (114). С. 121–127. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.1.121-127>

14. Дичко А. О., Єремєєв І. С. Аналіз ризиків і менеджмент водних екосистем. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2018. № 4 (111). С. 115–121. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.4.115-121>

15. Маджд С. М., Кулинич Я. І. Наукова методологія оцінювання екологонебезпечних ризиків функціонування техногенно-змінених водних екосистем. *Вісник*

КрНУ імені Михайла Остроградського. 2017. № 4 (105). С. 88–95.

16. Зур'ян О. В. Експериментальні дослідження теплового режиму гідротермальної теплонасосної системи. *Відновлювана енергетика*. 2021. № 4 (67). С. 77–89. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4\(67\).77-89](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).77-89)

17. Універсальний гідротермальний зонд-теплообмінник. пат. 150438 Україна: МПК(2006) F24J 3/08; F24H 7/00; F28D 20/02; E02D 3/115 16.02.2022. Бюл. № 7/2022.

TAKING INTO ACCOUNT ANTHROPOGENIC LOAD AND GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS ON THE UNDERGROUND HYDROSPHERE IN THE DESIGN HYDROTHERMAL HEAT PUMP SYSTEMS

Oleksii Zurian

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher

Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 20A Hnata Hotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02000;

ORCID: 0000-0002-2391-1611

Purpose. Identify changes in the hydrological parameters of the well, which opened the aquifer, under the influence of natural and urban processes that may adversely affect the efficiency of the hydrothermal heat pump system. **Methodology.** A set of parameters that determine the existence of man-made load on the underground hydrosphere is determined. An experimental hydrothermal heat pump system has been developed and constructed, which consists of a heat pump and two wells, through which water circulation is provided from the underground horizon to the heat pump. An interactive scheduling system based on the ESM (Engineering Systems Manager) software product has been developed. **Results.** It has been experimentally established that the construction of a housing cooperative within which the research site is located has changed the natural hydrogeological conditions of the upper aquifers. In addition, the construction of high-rise buildings aquifer. It was found that directly in the area of the residential complex, within which the research site is located, the aquifer reaches the day surface at a distance of 100 meters from the location of wells. In these places there is a hydraulic connection of the horizon with surface water bodies located at the bottom of the beams, and the horizon is fed directly by infiltration of precipitation. **Originality.** For the first time, comprehensive field experimental studies of the efficiency of the hydrothermal heat pump system from the geomorphological conditions of the area where hydrothermal probes and anthropogenic impact on the aquifer of the urban system in the location hydrothermal heat pump system. **Practical value.** The obtained experimental and calculated data can be used in the design of data of devices and systems of primary thermal energy extraction. **Conclusions.** Studies have confirmed that groundwater is an effective source of low-potential heat for heat pumps, as their temperature throughout the year is in the range from +8 to +12 °C. It is substantiated that when designing hydrothermal heat pumping units it is necessary to take into account that in areas where the height differences are close in size to the depth of the productive aquifer, the transformation coefficient of the heat pump system may differ significantly from the calculated one. Therefore, for the effective use of the aquifer as a natural accumulator of thermal energy it is necessary to conduct preliminary hydrogeological studies and qualitative study of both the existing anthropogenic load and geomorphological, geological and hydrogeological parameters of the drilling site.

Key words: hydrosphere, aquifer, well, urban system, pollution, monitoring.

REFERENCES

1. Koshlyakova, T. O. (2011). Suchasnyj stan vykory'stannya pytnyx pidzemnyx vod. [Current state of drinking groundwater use]. *Zbirnyk naukovykh statej III-go Vseukrayinskogo z'yizdu ekologiv z mizhnarodnoyu uchastyu. Vinnytsya*. Tom 1. S. 204–207. [in Ukrainian]

2. Parfenova, N. I., Rybina, N. N., Isaeva, S. D. (2008). Voprosy vodosnabzheniya i tekhnogennoho vozdejstviya na rezhim vzaimodejstviya poverhnostnyh i podzemnyh vod. [Issues of water supply and technogenic impact on the regime of interaction between surface and ground waters].

EKVAT AT EK-2008: Materialy kongr. Sibico International Ltd. S. 78–85. [in Russian]

3. Lyuta, N. G., Sanina, I. V. (2010). Osoblyvosti zabrudnennya geologichnogo seredovyshha v mezkhaz terytorij znachnogo texnogennoho navantazhennya. [Features of geological pollution within the territories of significant man-caused load]. *Materialy pyatoyi nauk.-prakt. konf. "Ekologichna bezpeka texno-genno perevantazhenykh regioniv. Ocinka i prognoz ekologichny'x ryzykiv"*, 7–11 chervnya 2010 r., Yalta, AR Krym. S. 16–17. [in Ukrainian]

4. Zurian, O. V., Olinichenko, V. G. (2021). Gidrotermalna systema otrymannya teplovoyi energii, fizychni procesy, efektyvnist. [Hydrothermal system of thermal energy production, physical processes, efficiency]. *Visnyk Vinnyczkogo politexnichnogo instytutu*. № 4. S. 40–46. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-40-46>
5. Morozov, Yu. P. tain. (2019). Energetychna efektyvnist' vykorystannya pershyx vid poverxni vodonosnyx goryzontiv dlya teplo- i xladopostachannya. [Energy efficiency of using the first aquifers from the surface for heat and cold supply]. Yu. P. Morozov, A. A. Bary'lo, D. M. Chalayev, M. P. Dobrovolskyj. *Vidnovlyuvana energetyka*. № 2. S. 70–78. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2\(57\)](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2(57))
6. Lund, J., Sanner, B., Rybach, L., Curtis, R., Hellstrom, G. (2004). Geothermal (ground-source) heat pumps a world overview. *GHC bulletin*. Vol. 9. Pp. 1–10.
7. Zhu, Ke, Blum, Philipp, Ferguson, Grant, Balke, Klaus-Dieter, Bayer, Peter. (2010). The geothermal potential of urban heat islands. *Environ. Res. Lett.* no. 5. Pp. 1–6. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/6/1/019501>
8. Zurian, O. V. (2019). Comparison of efficiency of geothermal and hydrothermal energy systems. *XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Renewable Energy Sources and Clean Tech. Varna. Bulgaria*. C. 83–90. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/4.1/S17.011>
9. Barylo, A. A. (2020). Analiz gidrogeologichnyx i geotermichnyx xarakterysty'k geotermalnyx obyektiv Ukrainy. [Analysis of hydrogeological and geothermal characteristics of geothermal objects of Ukraine]. *Vidnovlyuvana energetyka*. № 1 (60). S. 74–84. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1\(60\).74-85](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1(60).74-85)
10. Malkin, E. S., Kulinko, Ye. O. (2014). Perspektyvy ta aspekty zastosuvannya system teploxolodopostachannya, yaki vykorystovuyut prypoverxnevi shary vodyv yakosti teplovogo akumul'yatora. [Prospects and aspects of application of heat and cold supply systems that use near-surface layers of water as a heat accumulator]. *Ventylyaciya, osvittlennya ta teplogazopostachannya*. № 17. S. 63–69. [in Ukrainian]
11. Morozov, Yu. P., Chalayev, D. M., Olinichenko, V. G., Velychko, V. V. (2019). Eksperymentalne doslidzhennya dobovogo akumul'yuvannya xolodu shlyaxom vykorystannya vody pidzemnyx goryzontiv. Kyeva. [Experimental study of daily cold accumulation through the use of water from the underground horizons of Kyiv]. *Vidnovlyuvana energetyka*. № 3. S. 67–77. [https://doi.org/10.36296/1819-058.2019.3\(58\).67-77](https://doi.org/10.36296/1819-058.2019.3(58).67-77)
12. Vienken, T., Kreck, M., Dietrich, P. (2019). Monitoring the impact of intensive shallow geothermal energy use on groundwater temperatures in a residential neighborhood. *Geotherm Energy*. № 7 (1). <https://doi.org/10.1186/s40517-019-0123-x>
13. Isayenko, V. M., Madzhd, S. M. (2019). Teoretychna koncepciya formuvannya ekologo-nebezpechnyx ryzykiv u procesi rozvytku texnopryrodnyx vodnyx ekosystem. [Theoretical concept of formation of ecologically dangerous risks in the process of development of techno-natural aquatic ecosystems]. *Visnyk KrNU imeni Myxajla Ostrogradskogo*. № 1 (114). S. 121–127. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.1.121-127>
14. Dychko, A. O., Yermeyev, I. S. (2019). Analiz ryzykiv i menedzhment vodnyx ekosystem. [Risk analysis and management of aquatic ecosystems.]. *Visnyk KrNU imeni Myxajla Ostrogradskogo*. № 4 (111). S. 115–121. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.4.115-121>
15. Madzhd, S. M., Kulynych, Ya. Y. (2017). Naukova metodologiya ocynyuvannya ekologonebezpechnyx ryzykiv funkcionuvannya texnogenno-zmineniy vodnyx ekosystem. [Scientific methodology for assessing environmentally hazardous risks to the functioning of man-made aquatic ecosystems.]. *Visnyk KrNU imeni Myxajla Ostrogradskogo*. № 4 (105). S. 88–95. [in Ukrainian]
16. Zurian, O. V. (2021). Eksperymentalni doslidzhennya teplovogo rezhymu gidrotermalnoyi teplonasosno systemy. [Experimental studies of the thermal regime of the hydrothermal heat pump system]. *Vidnovlyuvana energetyka*. № 4 (67). S. 77–89. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4\(67\).77-89](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).77-89)
17. Universalnyj gidrotermalnyj zond-teploobminnyk. [Universal hydrothermal probe heat exchanger]. (2022). pat. 150438 Ukrainy: MPK(2006) F24J 3/08; F24N 7/00; F28D 20/02; E02D 3/115 16.02.2022. № 7/2022. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 05.03.2022

MITIGATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ELECTRICITY TRANSMISSION: EFFECT OF DECIDUOUS TREES ON ELECTRIC FIELD CAUSED BY OVERHEAD POWER LINES

Yevhenii Trotsenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Theoretical Electrical Engineering
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056;
ORCID: 0000-0001-9379-0061

Artem Nesterko

Senior Lecturer at the Department of Power System Automation
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056;
ORCID: 0000-0001-7488-4214

Yuliia Peretyatko

Candidate of Technical Sciences,
Faculty of Electrical Engineering and Automation
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056;
ORCID: 0000-0003-1397-8078

Mandar Dixit

Lecturer
Vishwaniketan Institute of Management Entrepreneurship and Engineering Technology, Kumbhivali, Tal, Khalapur, Maharashtra, 410202, India;
ORCID: 0000-0003-1959-7815

Purpose. The results of the electric field intensity measurement within one span of the 330 kV extra-high voltage overhead power line were analyzed. The effect of vegetation on the distribution of the electric field near the overhead power line was examined. **Methodology.** To measure the electric field of an overhead power line, a metering device, designed to measure the root-mean-square value of the intensity of an alternating electric field varying with a 50 Hz frequency was chosen. In the electric field measuring device, three transducers are used, oriented in three mutually perpendicular directions. Equivalent charge method was used to estimate the maximum value of the electric field intensity in the middle of the span of overhead power line. **Results.** Experimental data show that on the right side of the transmission line route, where a row of deciduous trees grow, the electric field intensity is 31.2 % to 55.2 % lower than on the left side, where there are no trees. The values of the electric field intensity calculated accounting overhead shield wires are 3.4 % lower than without them. The experimental data are in good agreement with the calculations by equivalent charge method. **Originality.** Considered overhead power line with a horizontal arrangement of wires is symmetrical about middle phase and therefore it facilitates the analysis of the influence of ground objects on the distortion of the electric field distribution, specifically, deciduous trees located only on the one side of the line route. **Practical value.** Deciduous trees planted in a single row have a shielding effect, limiting the electric field intensity at a height corresponding to the average height of a human being. **Conclusions.** With an increase in the area of deciduous tree growth outside the edge of the transmission line right-of-way, the decrease in the electric field strength will be more significant. Future efforts should be focused on environmental impacts of extra-high voltage and ultra-high voltage overhead power lines as well as lightning performance of such lines. References 10, figures 8.

Key words: overhead power line, environmental impacts, deciduous trees.

PROBLEM STATEMENT. All extra-high voltage (EHV) overhead power lines are a source of electromagnetic radiation, which, depending on its intensity, can have a negative impact on the environment and human life. It should be noted, that according to the classification of overhead

transmission lines by operating voltage, in a number of countries, voltages in the range from 330 kV to 750 kV are classified as EHV, while in a number of other countries, voltages ranging from 345 kV to 765 kV are known as EHV too. Despite this small difference, the physical presence of overhead power lines can affect wildlife (plants and animals) and human beings. The electromagnetic field of overhead power lines is estimated by the intensity of electric and magnetic field. This article is focused on the electric field of EHV overhead power lines. State sanitary norms and rules for protection of human beings from exposure to electromagnetic radiation set the maximum permissible levels of electric field intensity. For example, in a human populated area, outside the residential area, as well as in vegetable gardens and orchards, the root-mean-square (RMS) value of the electric field intensity should not exceed 5.0 kV/m. In order to protect the human health from the effects of the electric field of overhead power lines, a sanitary protection zone is established. This term include all territories where the electric field intensity at 1.8 m height above the ground exceeds 1.0 kV/m. As a result of human population growth and increased demand for electricity, the densely populated area is increasing, as well as the number of power transmission lines of different voltage classes. Thus, the distance between residential areas and overhead power line routes may decrease. Therefore, the problem of the environmental impact of overhead power lines remains relevant and receives considerable attention in the world. For example, reviewing the abstracts of modern articles, one can say that analysis of the electric field measurement under 220 kV and 400 kV power transmission lines is scrutinized in [1; 2]. Measurement of electric field near EHV transmission lines of other voltage classes is studied in following articles: 330 kV in [3], 400 kV in [4] and 500 kV in [5]. Due to the potential threat of electromagnetic field to human's health, much effort has been put into not only measuring, but also simulating the electric field of power transmission lines [6; 7]. At the same time, it should be noted that only values that are close to the result of direct physical measurement can serve as a criterion for the reliability of data obtained as a result of simulation. This task is relevant for all countries that have a developed electrical network grid, consisting of both EHV and ultra-high voltage (UHV) overhead power lines. Vegetation and terrestrial objects affect the values of the electric field intensity. In particular, it has been found that the electric field intensity decreases near spruce trees [8].

The aim of this work is to continue the research started in [3] and to determine how other vegetation affect the distribution of the electric field near the overhead power line.

MATERIAL AND RESULTS. This article provides additional analysis of a part of the data array obtained in 2016. To measure the electric field intensity caused by overhead power line, one span of the 330 kV line with guyed suspension towers was considered (Fig. 1).

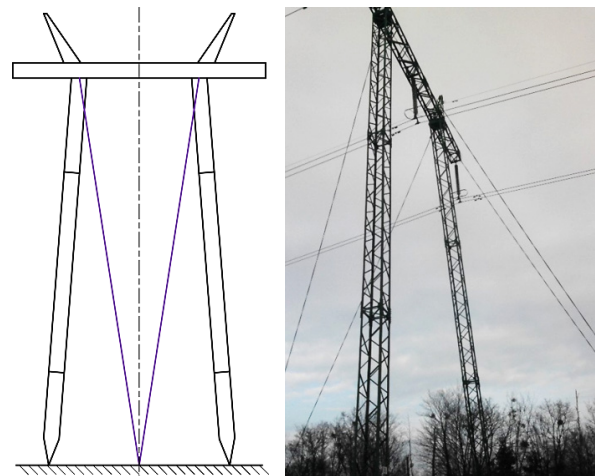


Figure 1 – Sketch (left) and photograph (right) of a guyed suspension tower

This electricity pylon is symmetrical about middle phase and is therefore of interest for research, since it facilitates the analysis of the influence of ground objects on the distortion of the field distribution, for example, a line of deciduous trees located only on the one side of the line route. Near the line shown in Fig. 1, there are no other power lines. So, the measurement results will be due only to the wires of this line and ground objects that distort the field, specifically a line of deciduous trees that grow only on the one side of the line route at 8 m distance from the projection of the right phase to the ground. These trees are outside the edge of the transmission line right-of-way. The results of the electric field measurement under the wires of the power line in the middle of the span are shown in Fig. 2.

Here and below, the blue color (graph 1) shows the actual distribution of the electric field, distorted on one side by a row of trees. The red color (graph 2) shows the hypothetical distribution of the electric field, which could take place if there were no trees to the right of the line (as well as to the left). Some other plots at various positions between the two adjacent electricity pylons are shown in Fig. 3 to Fig. 6.

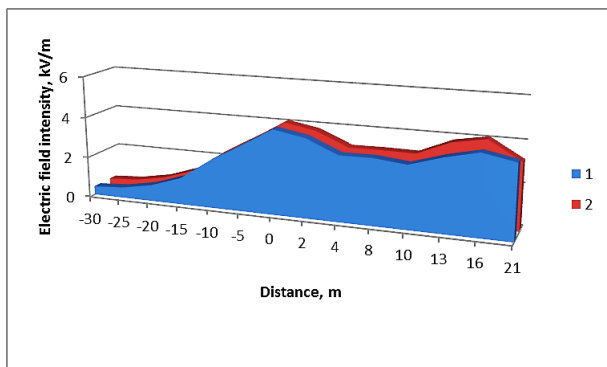


Figure 2 – Electric field intensity in the middle of the span at 1.8 m height above the ground

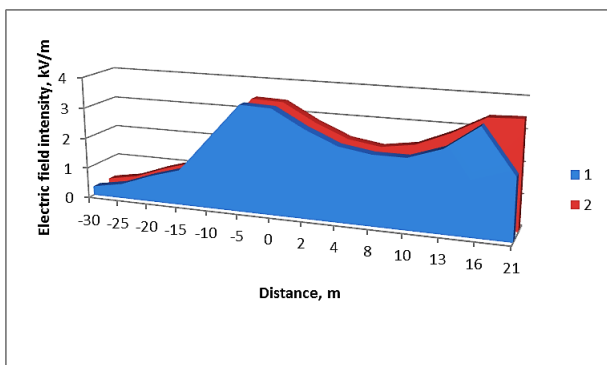


Figure 3 – Electric field intensity at a distance of 35 % of the span length at 1.8 m height above the ground

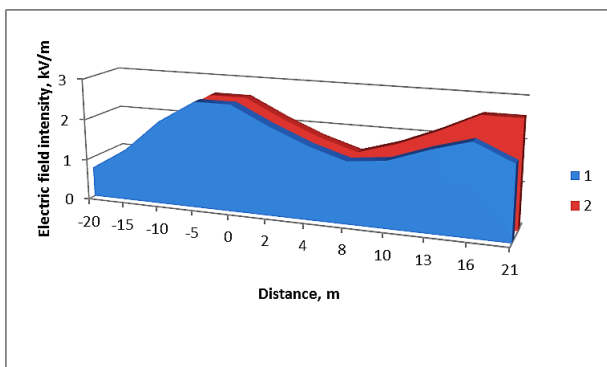


Figure 4 – Electric field intensity at a distance of 25 % of the span length at 1.8 m height above the ground

In the illustrations above, the projections of the three phases on the ground correspond to the coordinates 0 m, 8 m and 16 m. According to the data obtained, at 5 m distance from the projection of the right phase on the ground, from the side where trees grow, the electric field intensity is 42.7 % lower than in the absence of trees (Fig. 3). In Fig. 4 electric field intensity is 31.2 % lower than in the absence of trees. In Fig. 5 and Fig. 6 electric field intensity

is reduced by 55.2 % and 42.9 %, subsequently. The results show that even trees planted in a single row have a shielding effect, limiting the electric field intensity at a height corresponding to the average height of a human being.

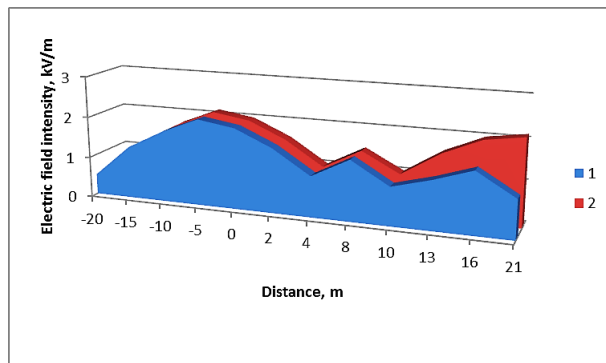


Figure 5 – Electric field intensity at a distance of 15 % of the span length at 1.8 m height above the ground

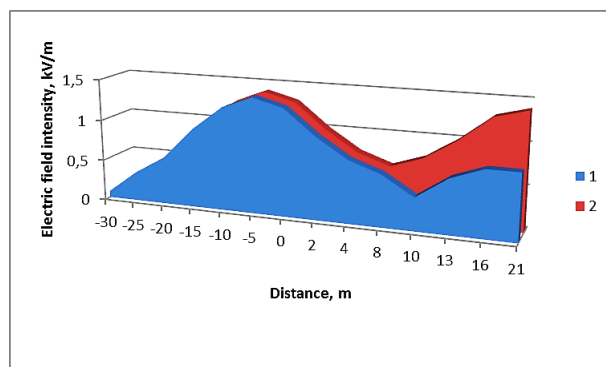


Figure 6 – Electric field intensity at a distance of 5 % of the span length at 1.8 m height above the ground

The experimental data presented above reflect the typical features of the field distribution in the span of an overhead power line. For example, when moving away from the tower, as the sag of the wires increases, the electric field intensity increases, reaching maximal value in the middle of the span (refer to Fig. 2), where the distance between the wires and the ground is minimal. Contrariwise, when coming near the tower, the distance between the wires and the ground increases, and the electric field intensity reaches minimal value (refer to Fig. 6). An electric field measuring device used in the article is shown in Fig. 7.

In Fig. 7: 1 is a metal sphere; 2 is an antenna; 3 is a metal connecting ring; 4 is a dielectric holder.

To measure the electric field intensity, typically, devices with a field-voltage type conversion are used.

Moreover, to measure the electric field caused by overhead power lines, it is advisable to use devices based on RMS converters, since it is the RMS field values that are normalized in regulatory documents. Such devices make it possible to measure fields that change arbitrarily with time, in particular the electric fields of overhead power lines with elliptical polarization. Among the various devices, meters with three-component sensors have advantages over others. In such meters, three transducers are used, oriented in three mutually perpendicular directions, and the signal processing unit includes the RMS summation of the signals from all three transducers. Therefore, unlike a device with a single antenna, such a device is not characterized by reception directivity. That means the result of the field measurement does not depend on the angle between the direction of the field vector and the direction of the sensitivity axis of the transducer antenna.

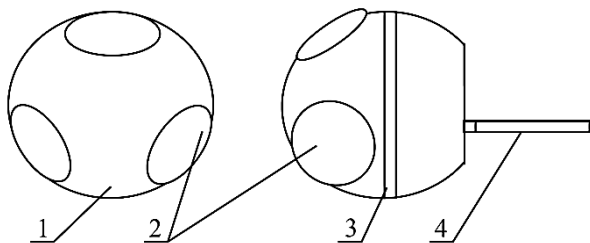


Figure 7 – Sketch of electric field measuring device: back view (left) and side view (right)

Taking this into account, to measure the electric field of an overhead power line, a metering device, designed to measure the RMS value of the intensity of an alternating electric field varying with a 50 Hz frequency was chosen [9].

The measuring unit of the device consists of two hemispheres mounted on a connecting ring. The front hemisphere has controls, scale and a sleeve for connecting the dielectric holder. Three antennas are installed on the rear hemisphere, located in three orthogonal planes and having circular shape (disks). The processing of signals from three antennas is carried out according to the formula:

$$E = K \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2},$$

where: E are readings of the device; K is a proportionality factor, which depends on the size of the sphere and antennas; E_x , E_y and E_z are instantaneous values of signals, respectively, on the first, second and third channels.

During the measurement process, in order to exclude the distortion of the electric field by the operator, the device was installed vertically on

an insulating rod 1.8 m high, after which the operator moved away from it. Also, during the measurement process, the possibility of changing the readings of the device depending on its spatial orientation was checked. No deviations from the measurement results were observed.

Operation of the device, study of its characteristics, as well as determination of the proportionality coefficient was performed in [9] and therefore is not the subject of this article.

To control the results of measuring the electric field intensity, it is necessary to carry out a numerical calculation of the electric field intensity values that should be expected during the physical measurement.

According to accurate problem definition, the electric field in the span of an overhead power line is three-dimensional. This is primarily due to the influence of metal towers, guy-wires (in case of guyed suspension towers), sagging of electrical wires, as well as uneven terrain where the power line goes. But if only the highest values of the electric field intensity in the span of the power line near the ground are of interest, then the calculation can be simplified by taking into account the following factors. Firstly, due to the sagging of electrical wires, the electric field intensity at the ground surface will be maximal in the middle of the span of the overhead line, where the distance between the wires and the ground is the smallest. Secondly, in the middle of the span, the wires go almost parallel to the ground surface. Thirdly, in the middle of the overhead power line span, far from the transmission towers, the influence of the latter can be neglected. Fourthly, overhead power lines are located, typically, on relatively flat terrain, and therefore uneven terrain can be neglected. With this in mind, one can assume that the problem of calculating the electric field of an overhead power line is reduced to calculating the electric field of a system of charged axes located near the conductive surface. Such an electric field is two-dimensional, or more precisely, plane-parallel, since in any plane perpendicular to the power line wires and the conductive ground, the electric field distribution will be the same. This task can be solved using the equivalent charge method [10].

The electric field of an infinite uniformly charged line is determined by equations (1) and (2).

$$E(r) = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_r\epsilon_0 r}. \quad (1)$$

$$\phi(r) = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_r\epsilon_0} \ln\left(\frac{1}{r}\right) + C. \quad (2)$$

In above expressions: r is the distance from the considered point to the line; τ is the line charge; ϵ_r is the relative permittivity of the air; ϵ_0 is the electric constant; ϕ is the electric potential. The electric field intensity vector $\vec{E}$ is directed radially along the line. When calculating the electric field of a charged line, it is considered that $C = 0$ in expression (2).

When calculating the electric field of a given system of fixed charges, the superposition principle is used. That means the electric field potential at any point is equal to the sum of the electric potentials generated by the charges of the system, and the electric field intensity vector is equal to the vector addition of the electric field intensity vectors from the charges.

In general, for a system of charged lines, the electric field at any point is given by following expressions:

$$\phi = \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_r\epsilon_0} \ln\left(\frac{1}{r_i}\right). \quad (3)$$

$$E_x = \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_r\epsilon_0 r_i} \cos(\vec{x}, \vec{r}_i). \quad (4)$$

$$E_y = \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_r\epsilon_0 r_i} \cos(\vec{y}, \vec{r}_i). \quad (5)$$

In above expressions: r_i is the distance between the considered point and the i -axis; $\cos(\vec{x}, \vec{r}_i)$, $\cos(\vec{y}, \vec{r}_i)$ are the cosines of the angles between the vector $\vec{E}$ and coordinate axes; E_x , E_y are projections of the vector $\vec{E}$ onto the coordinate axes; i is the sequence number. Since the distances between phase conductors of overhead power lines are much greater than their radii, the displacement of the electric axes of the wires can be neglected and it can be assumed that the charges of the wires are concentrated on their geometric axes. When solving the tasks of electrostatics, the physical ground is generally considered conductive. Therefore, images of charged lines in the ground τ_i will have charges $\tau'_i = -\tau_i$. Thus, one will have a system of equivalent charges, which consists of pairs of charged axes: $2-2'$, $2-2'$ and $3-3'$.

This approach corresponds to the requirement (6) used when calculating the plane-parallel electric field of the overhead power line.

$$\sum_{i=1}^n \tau_i = 0. \quad (6)$$

In a three-phase power line, voltages and in all three phases U_1 , U_2 and U_3 are time varying with an angular frequency ω : $U_1 = U_m \sin(\omega t)$; $U_2 = U_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$; $U_3 = U_m \sin(\omega t + 2\pi/3)$, where U_m is a voltage amplitude. This complicates

the calculation of the electric field, since it varies with time. Therefore, the calculation of the electric field is carried out for different instants of time. At any point P , which has geometric coordinates (x, y) , the electric field intensity is given by formula (7).

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}, \quad (7)$$

where:

$$E_x = \sum_{i=1}^3 E_{xi}, \quad (8)$$

$$E_y = \sum_{i=1}^3 E_{yi}, \quad (9)$$

Projections of the electric field intensity vector onto the coordinate axes are determined from expressions (4) and (5):

$$\begin{aligned} E_{xi} &= \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_0 r_i} \cos(\vec{x}, \vec{r}_i) + \frac{\tau'_i}{2\pi\epsilon_0 r'_i} \cos(\vec{x}, \vec{r}'_i) = \\ &= \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_0 r_i} \cos(\vec{x}, \vec{r}_i) - \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_0 r'_i} \cos(\vec{x}, \vec{r}'_i) = \\ &= \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{x - x_i}{r_i^2} - \frac{x - x_i}{(r'_i)^2} \right), \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} E_{yi} &= \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_0 r_i} \cos(\vec{y}, \vec{r}_i) + \frac{\tau'_i}{2\pi\epsilon_0 r'_i} \cos(\vec{y}, \vec{r}'_i) = \\ &= \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_0 r_i} \cos(\vec{y}, \vec{r}_i) - \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_0 r'_i} \cos(\vec{y}, \vec{r}'_i) = \\ &= \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{y - y_i}{r_i^2} - \frac{y + y_i}{(r'_i)^2} \right), \end{aligned} \quad (11)$$

where:

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}, \quad (12)$$

$$r'_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2}. \quad (13)$$

Electric potential in any point $P(x, y)$ is given by expression (14).

$$U_P = \sum_{i=1}^3 \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{r'_{ji}}{r_{ji}}\right). \quad (14)$$

To determine three unknown variables τ_1 , τ_2 and τ_3 , it is necessary to solve a system of three equations arising from (14), placing a point P sequentially on the surface of each of the three wires (since the potentials of the wires are known). Neglecting the radius r_0 of the wire compared to the distances between the wires, one obtains a system of equations in matrix form:

$$\mathbf{a} \cdot \boldsymbol{\tau} = \mathbf{u}. \quad (15)$$

In expression (15): $\mathbf{a}$ is a main matrix of the system, $\boldsymbol{\tau}$ is an equivalent charge matrix on each wire, $\mathbf{u}$ is a voltage matrix of each wire:

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}.$$

Potential coefficients in square matrix are determined by expressions (16) and (17):

$$a_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{2y_i}{r_0} \right), \text{ if } i=j, \quad (16)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{r'_{ji}}{r_{ji}} \right), \text{ if } i \neq j. \quad (17)$$

In above two expressions: r_{ij} , r'_{ij} are distances r_i , r'_i , provided that the point $P(x, y)$ is on the axis of the wire under the number j .

Unknown variables τ_1 , τ_2 and τ_3 are calculated with a help of determinants by the following formulas:

$$\tau_1 = \frac{\det \mathbf{a}_1}{\det \mathbf{a}}, \quad (18)$$

$$\tau_2 = \frac{\det \mathbf{a}_2}{\det \mathbf{a}}, \quad (19)$$

$$\tau_3 = \frac{\det \mathbf{a}_3}{\det \mathbf{a}}, \quad (20)$$

In equations (18)–(20), the matrices $\mathbf{a}_1$, $\mathbf{a}_2$ and $\mathbf{a}_3$ are obtained with the replacement of the i -column ($i = 1, 2, \dots, n$) by the column matrix $\mathbf{u}$:

$$\mathbf{a}_1 = \begin{bmatrix} U_1 & a_{12} & a_{13} \\ U_2 & a_{22} & a_{23} \\ U_3 & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a}_2 = \begin{bmatrix} a_{11} & U_1 & a_{13} \\ a_{21} & U_2 & a_{23} \\ a_{31} & U_3 & a_{33} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{a}_3 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & U_1 \\ a_{21} & a_{22} & U_2 \\ a_{31} & a_{32} & U_3 \end{bmatrix}.$$

Then the determinants in equations (18)–(20) are calculated by formulas (21)–(24):

$$\det \mathbf{a} = a_{11}a_{22}a_{33} - a_{11}a_{23}a_{32} - a_{12}a_{21}a_{33} + a_{12}a_{31}a_{23} + a_{21}a_{13}a_{32} - a_{13}a_{22}a_{31}, \quad (21)$$

$$\det \mathbf{a}_1 = a_{12}a_{23}U_3 - a_{12}a_{33}U_2 - a_{13}a_{22}U_3 + a_{13}a_{32}U_2 + a_{22}a_{33}U_1 - a_{23}a_{32}U_1, \quad (22)$$

$$\det \mathbf{a}_2 = a_{11}a_{33}U_2 - a_{11}a_{23}U_3 + a_{21}a_{13}U_3 - a_{21}a_{33}U_1 - a_{13}a_{31}U_2 + a_{31}a_{23}U_1, \quad (23)$$

$$\det \mathbf{a}_3 = a_{11}a_{22}U_3 - a_{11}a_{32}U_2 - a_{12}a_{21}U_3 + a_{12}a_{31}U_2 + a_{21}a_{32}U_1 - a_{22}a_{31}U_1. \quad (24)$$

Bundled conductors are used in EHV overhead power lines. The bundled conductor design covers the number of conductors per phase, sectional area of conductors and spacing between conductors. Equivalent radius of conductor per phase is given by following formula:

$$r_{eq} = \sqrt[n]{nr_0R^{n-1}}. \quad (25)$$

In expression (25) r_0 is a calculation radius of single conductor; n is a number of sub-conductors and R is given by:

$$R = \frac{a}{2 \sin \left(\frac{\pi}{n} \right)},$$

where: a is a spacing between sub-conductors.

The bundled conductors are electrically equivalent to a single conductor, but larger one than each of the sub-conductors.

It is the value calculated by formula (25) that must be substituted into (16) instead of r_0 in the case of a bundled conductors.

Since the maximal RMS values of the electric field intensity are taken as the maximum permissible intensity, it is advisable to calculate the field in complex numbers by setting the potentials of the wires in exponential form:

$$\dot{U}_1 = \frac{U}{\sqrt{3}} e^{j0}; \quad \dot{U}_2 = \frac{U}{\sqrt{3}} e^{-j2\pi/3}; \quad \dot{U}_3 = \frac{U}{\sqrt{3}} e^{+j2\pi/3},$$

where: U is the line-to-line voltage, kV.

Then, one exclude the time t from the calculation, and the electric field calculation can also be performed according to formulas (7)–(20), but instead of formula (7), use formula (26):

$$E_{\max} = |\dot{E}| = \sqrt{(\operatorname{Re} \dot{E})^2 + (\operatorname{Im} \dot{E})^2} = \sqrt{\dot{E}_x^2 + \dot{E}_y^2}. \quad (26)$$

Overhead shield wires affect the distribution of the electric field around power line and near ground. To assess this impact, shield wires must be taken into account in the calculation. One can assume that the overhead shield wires are at zero potential.

When taking into account overhead shield wires, the equation system (15) will change in the calculation and for towers with two ground wires it will take the form (27).

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \\ \tau_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (27)$$

The system of equations (27) is similarly solved using determinants. But unlike expressions (21)–(24) for a system with 5 unknown variables, the symbolic expressions of the determinants are too long, and therefore they are not given here. Determination of unknown charges using matrix determinants is convenient to perform using software that has built-in functions for calculating determinants.

Regardless of the number of unknown variables, this method is more clear and less time consuming than solving a system of linear algebraic equations using the Gaussian elimination or Gauss-Jordan elimination method.

Comparison of the results of electric field intensity measurement beneath a 330 kV transmission line at 1.8 m height above the ground with the results of calculations using the equivalent charge method for the middle of the span are shown in Fig. 8.

In Fig. 8: blue color (graph 1) shows the measurement results; red color (graph 2) shows the results of the calculation, taking into account overhead shield wires; green color (chart 3) shows the calculation results without shield wires. The experimental data are in good agreement with the calculation results. Shield wires have little effect on the electric field near the earth's surface. This is confirmed by the results of the analytical calculation of the electric field. The values of the electric field intensity calculated accounting overhead shield wires are 3.4 % lower than without them.

CONCLUSIONS. The article examines the measurement of the alternating electric field intensity within one span of the 330 kV EHV transmission. The maximum value of the electric field intensity beneath the phase wires at the point where the distance between phase conductors and the ground is minimal does not exceed the 5.0 kV/m maximum allowable level. Ground

objects located near the power line affect the distribution of the electric field. This is especially evident for a line with a horizontal arrangement of wires, when, due to the influence of ground objects located only on the one side of the power line route, the symmetry of the line field pattern about the middle phase is distorted. Comparison of experimental results and numerical calculations showed that the equivalent charge method can be used to estimate the maximum value of the electric field intensity in the middle of the span of overhead power lines. The previously established fact of a decrease in the electric field intensity by trees that grow near power lines has been confirmed. Experimental data show that on the right side of the transmission line route, where a row of deciduous trees grow, the electric field intensity is 31.2 % to 55.2 % lower than on the left side, where there are no trees. Even a single row of deciduous trees has a shielding effect, limiting the electric field intensity. The protective effect of trees lies in the fact that living trees, having sufficient electrical conductivity, carry the potential of the earth to a height that exceeds the height of a human being, which creates a shielding effect. With an increase in the area of deciduous tree growth, the decrease in the electric field strength will be more significant. Obviously it is about trees outside the edge of the transmission line right-of-way. Future efforts should be focused on environmental

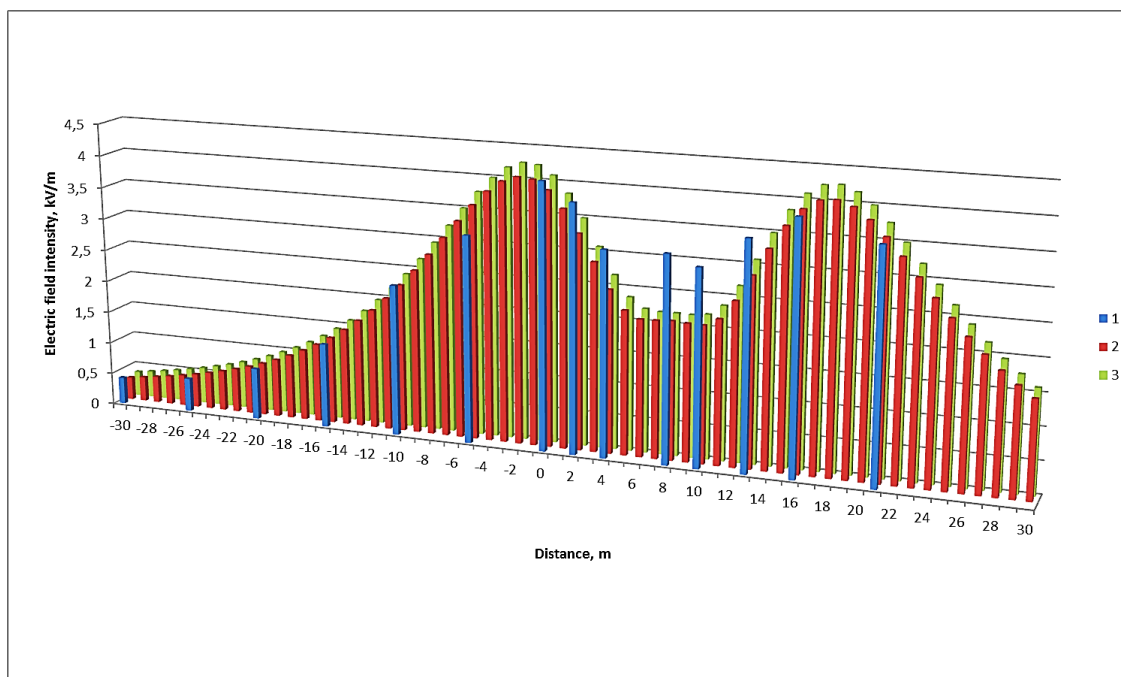


Figure 8 – Results of measurement and calculation of the electric field intensity in the middle of the span

impacts of EHV and UHV overhead power lines as well as lightning performance of such lines.

REFERENCES

1. Srinivasa, K. M., Maruti, R., Rajesh Kumar, O., Nambudiri, P. V. V., Lalli, M. S., Srinivasan, K. N., Goswami, M. M. (1998). "Field measurements of electric and magnetic fields on HV and EHV transmission lines and substations", *Conference record of the 1998 IEEE International symposium on electrical insulation (Cat. No. 98CH36239)*, Vol. 2, pp. 347–350, doi: 10.1109/ELINSL.1998.694806
2. Carsimamovic, S., Bajramovic, Z., Rascic, M., Veledar, M., Aganovic, E., Carsimamovic, A. (2011). "Experimental results of ELF electric and magnetic fields of electric power systems in Bosnia and Herzegovina", *2011 IEEE EUROCON – International conference on computer as a tool*, pp. 1–4, doi: 10.1109/EUROCON.2011.5929238
3. Brzhezitskiy, V. O., Suleymanov, V. M., Trotsenko, Y. O., Hominich, V. I., Kulakevich, A. G. (2016). "Experimental study of the electric field of 330 kV high voltage alternating current overhead transmission line", *Power engineering: economics, technique, ecology*. Vol. 2, pp. 7–12.
4. Carsimamovic, A., Mujezinovic, A., Carsimamovic, S., Muharemovic, A., Bajramovic, Z. (2014). "Measuring of voltages and ELF electric fields of high-voltage network in Bosnia and Herzegovina", *2014 International symposium on electromagnetic compatibility*, pp. 611–614, doi: 10.1109/EMCEurope.2014.6930978
5. Abdallah, A. S. (1999). "Electric fields from transmission lines nearby populated areas in Egypt: theory versus experiment", *1999 Eleventh international symposium on high voltage engineering*. Vol. 2, pp. 119–122, doi: 10.1049/cp:19990610
6. Javadi, H., Mobarhani, A., Ameli, A. (2010). "Electric field evaluation of 400 kV overhead transmission lines on the earth surface", *5th IET International conference on system safety 2010*, pp. 1–5, doi: 10.1049/cp.2010.0841
7. Mujezinovic, A., Carsimamovic, A., Carsimamovic, S., Muharemovic, A., Turkovic, I. (2014). "Electric field calculation around of overhead transmission lines in Bosnia and Herzegovina", *2014 International symposium on electromagnetic compatibility*, pp. 1001–1006, doi: 10.1109/EMCEurope.2014.6931049
8. Suojanen, M., Vehmaskoski, J., Kuusiluoma, S., Trygg, P., Korpinen, L. (2000). "Effect of spruce forest on electric fields caused by 400 kV transmission lines", *PowerCon 2000. 2000 International Conference on Power System Technology. Proceedings (Cat. No. 00EX409)*. Vol. 3, pp. 1401–1405, doi: 10.1109/ICPST.2000.898174
9. Brzhezitskiy, V. O., Nedilko, Y. V., Hominich, V. I. (2009). "Characteristics of electric field measuring device", *Research bulletin of NTUU "KPI"*, Vol. 5 (67), pp. 41–44.
10. Fan, J., Ai, C., Guo, A., Yan, X., Wang, J. (2021). "Evaluation of electric field integral voltage measurement method of transmission line based on error transmission and uncertainty analysis", *Sensors (Basel)*, Vol. 21 (13): 4340, pp. 1–15, doi: 10.3390/s21134340

ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ: ВПЛИВ ЛИСТЯНИХ ДЕРЕВ НА ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ, ОБУМОВЛЕНЕ ПОВІТРЯНИМИ ЛІНІЯМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Євгеній Троценко

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри теоретичної електротехніки

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056;

ORCID: 0000-0001-9379-0061

Артем Нестерко

старший викладач кафедри автоматизації енергосистем

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056;

ORCID: 0000-0001-7488-4214

Юлія Перетятко

кандидат технічних наук,
факультет електроенерготехніки та автоматики

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056;

ORCID: 0000-0003-1397-8078

Мандар Діксіт

викладач

Інститут управління підприємництвом та інженерних технологій Вішванікетана, Кумбхивалі, Тал, Халапур, Махараштра 410202, Індія;

ORCID: 0000-0003-1959-7815

Проаналізовано результати вимірювання напруженості електричного поля в межах одного прольоту повітряної лінії надвисокої напруги класу напруги 330 кВ. Досліджено вплив рослинності на розподіл електричного поля поблизу повітряної лінії електропередачі. Для вимірювання електричного поля повітряної лінії електропередачі використано вимірювальний прилад, призначений для вимірювання середньоквадратичного значення напруженості змінного електричного поля, що змінюється з частотою 50 Гц. У пристрої вимірювання електричного поля використовуються три перетворювачі, орієнтовані у трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Методом еквівалентного заряду розраховано максимальне значення напруженості електричного поля у середині прольоту повітряної лінії електропередачі. Експериментальні дані показують, що з правого боку траси лінії електропередачі, де росте ряд листяних дерев, напруженість електричного поля на 31,2–55,2 % нижча, ніж з лівого боку, де дерев немає. Значення напруженості електричного поля, розраховані з урахуванням грозозахисних тросів на 3,4 % нижчі, ніж без них. Експериментальні дані добре узгоджуються з розрахунками, виконаними за методом еквівалентних зарядів. Розглянута повітряна лінія електропередачі з горизонтальним розташуванням проводів симетрична відносно середньої фази, і тому полегшує аналіз впливу наземних об'єктів на спотворення розподілу електричного поля, зокрема листяних дерев, розташованих лише з одного боку траси лінії. Листяні дерева, посаджені в один ряд, мають екрануючий ефект, обмежуючи напруженість електричного поля на висоті, що відповідає середньому зросту людини. Зі збільшенням площі насадження листяних дерев за межами смуги відчуження лінії електропередачі зменшення напруженості електричного поля буде більш істотним. Подальші зусилля необхідно зосередити на екологічному аспекті повітряних ліній електропередач надвисокої та ультрависокої напруги, а також на питаннях блискавкозахисту таких ліній.

Ключові слова: повітряна лінія електропередачі, вплив на навколишнє середовище, листяні дерева.

Стаття надійшла 03.03.2022

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ СУМІШІ РІДКИХ КРИСТАЛІВ З ВИПАРАМИ ЛЕТКИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Григорій Барило

доктор технічних наук,

професор кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, hryhorii.i.barylo@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0001-5749-9242

Зиновій Микитюк

доктор фізико-математичних наук,

професор кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, zynovii.m.mykytiuk@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0001-7476-6031

Ірина Кремер

кандидат технічних наук,

доцент кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, iryna.p.kremer@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0003-2362-1195

Юрій Качурак

аспірант кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, yurii.m.kachurak@lpnu.ua;

Назар Барило

студент кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, nazar.barylo.el.2019@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0002-9101-3768

Робота присвячена дослідженню впливу перехідних процесів на спектральну характеристику холестеричних рідких кристалів (ХРК) в процесі взаємодії з випарами летких сполук. Тривалість перехідних процесів є важливим параметром в процесі побудови оптичних сенсорів з чутливим елементом на основі ХРК. Точність вимірювання такого сенсора визначається параметрами спектральної характеристики в момент закінчення перехідних процесів. В результаті проведених досліджень встановлено залежності часу реакції ХРК від зміни оточуючого газового середовища. Отримано значення тривалості перехідних процесів ХРК для різних рівнів концентрації оточуючого газового середовища. Для проведення досліджень спектральних характеристик та визначення тривалості перехідних процесів розроблено апаратно-програмну систему на основі сучасного інтегрального багато-канального фотоперетворювача TCS3490 (AMS) і поширеної інформаційно-обчислювальної платформи Arduino.

Ключові слова: оптичний сенсор, спектральна характеристика, рідкі кристали, холестерико-нематична суміш.

На сьогодні існує багато різноманітних за принципом дії та призначенням сенсорів фізичних величин, які дозволяють аналізувати, фіксувати та обробляти інформацію про стан певних фізичних систем. З розвитком науки та техніки сенсори всебічно удосконалюються, виникають

нові типи. Враховуючи переваги оптичних методів вимірювання фізичних величин, за останні роки все більшого розповсюдження в дослідженнях та розробках отримали оптичні сенсори [1]. Принцип їх дії базується на зміні оптичних характеристик чутливого елемента сенсора від

впливу досліджуваного середовища (аналіта) [2]. В залежності від типу оптичних сенсорів їх дія заснована на принципах: поглинання світла (абсорбція) [3], відбиття первинного (падаючого) світлового потоку [4], різних видів люмінесценції (фото- та електрохемілюмінесценція) [5] та деяких інших. При цьому використовуються залежності оптичних властивостей середовищ від концентрації аналіту. Пошук нових чутливих матеріалів для первинного перетворювача оптичного сенсора має важливе значення для промисловості, медицини та екології з метою детектування високотоксичних органічних сполук [6; 7]. Складність розробки таких приладів пов'язана з необхідністю поєднання наступних найважливіших параметрів в одному пристрої:

- можливість одночасного вимірювання та ідентифікації декількох молекул;
- висока чутливість і висока точність визначення концентрацій;
- селективність;
- швидкодія;
- простота використання;
- ціна «одного вимірювання» і вартість приладу.

Розвиток сучасних технологій, що ґрунтуються на якісно нових принципах (оптоволоконні сенсори, наноструктури, органічні напівпровідники та перетворювачі енергії) вимагає пошуку нетрадиційних матеріалів, які не тільки задовольняли б вимоги сучасної техніки, але були б доступними за собівартістю. Цим вимогам повністю відповідають рідкокристалічні композити [8], які можна одержати на основі холестеричних та нематичних рідких кристалів. Рідкі кристали (РК) використовуються для створення сенсорів хімічних речовин [9], температури [10], вологості [11], парів шкідливих речовин [12] тощо. Зміна їхніх фізичних параметрів (орієнтація молекул, крок спіралі) під впливом зовнішніх чинників приводить до зміни оптичних параметрів (поглинання світла, відбивання первинного світлового потоку). Структура рідкокристалічних матеріалів містить відповідну функціональну групу, орієнтація якої змінюється під впливом органічних речовин, тому вони можуть з успіхом використовуватися в оптичних сенсорах для аналізу органічних речовин, газів, тощо.

Завдяки тому, що молекули РК розташовуються впорядковано такі сполуки мають як оптичну анізотропну властивість, так і пропускну здатність. ХРК має спіральну структуру, з молекулами паралельного розташування в шарі

та поступовим скручуванням між сусідніми шарами. Завдяки такій особливій структурі для ХРК характерне селективне відбиття світла [13]. Довжина хвилі селективного відбиття має тенденцію змінюватись зовнішнім середовищем, таким як електричні, магнітні, температурні та органічні випари. Тому ХРК використовуються не тільки в пристроях відображення, але і в області сенсорики [14].

ХРК характеризуються наявністю орієнтаційного та відсутністю трансляційного порядку. Присутність оптично активних молекул приводить до того, що рідкокристалічні молекули в кожному квазінематичному шарі відхиляються на певний кут, утворюючи спіральну структуру. У тонких шарах холестеричних рідких кристалів спостерігається ефект обертання площини поляризації світла, зумовлений спіральною структурою. Якщо знак обертання вектора поляризації в ХРК збігається зі знаком спіралі, а довжина хвилі становить половину кроку холестеричної спіралі, спостерігається повне відбивання циркулярно поляризованого світла, яке поширюється в ХРК.

Для побудови базової рідкокристалічної матриці вибрано промислову суміш ХРК фірми MERK© – E7. Вибір зумовлено головною перевагою цієї рідкокристалічної суміші, а саме, хімічною інертністю та стабільністю існування мезофази в температурному інтервалі 10...70 °С. Хімічний склад цієї суміші поєднує в собі нематичні рідкі кристали з холестеричними рідкими кристалами. Для отримання холестерико-нематичних сумішей (ХНС) було вибрано сильнополярний нематичний рідкий кристал (НРК) типу 15СВ. Цей РК характеризується мінімумом пропускання на довжині хвилі 350 нм, який відповідає власному піку поглинання.

На рис. 1 наведено спектральну характеристику ХНС із концентрацією НРК 38 %. На спектральній залежності суміші спостерігаємо два максимуми довжини хвилі поглинання, перший з яких (I) міститься в короткохвильовій, а другий (II) – у довгохвильовій області спектра. Короткохвильовий мінімум обумовлений власним піком поглинання нематичного рідкого кристала, який спостерігається на довжині хвилі 322 нм (чистий 15СВ характеризується власним піком поглинання на довжині хвилі 350 нм), довгохвильовий мінімум залежить від концентрації нематичного рідкого кристала в суміші.

Дослідження спектральних характеристик ХНС в середовищах органічних речовин, харак-

теризується швидким переходом суміші в ізо-
тропний стан. Причиною того є взаємодія двох
дипольних молекул нематичного рідкого кри-
сталу і органічної речовини чи газу з утворенням
конгломерату, який сприяє розкрутці холестерич-
ної спіралі суміші. Виявлені фізичні закономір-
ності переходу рідкокристалічної суміші в ізо-
тропний стан, дозволяють використовувати її як
чутливий елемент оптичного сенсора ацетону,
але виникає необхідність контролю саме часу
реакції суміші на аналіт.

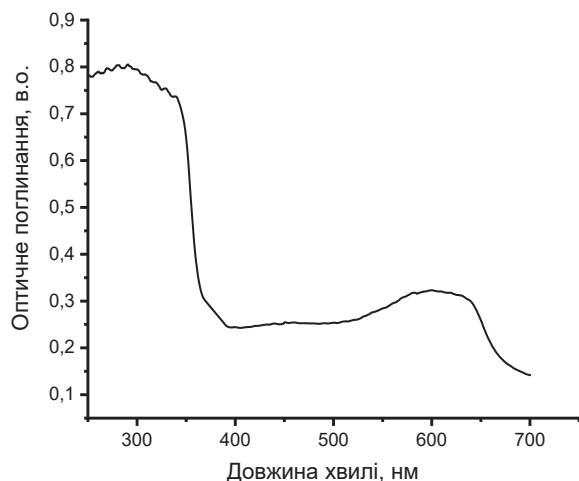


Рисунок 1 – ХНС із концентрацією НРК 38 %

Нами запропоновано використання апаратно-
програмного комплексу (рис. 2), який забезпечує
вимірювання значень інтенсивності трьох спек-
тральних складових світла, яке проходить крізь
рідкокристалічний чутливий елемент.

Загальний принцип роботи полягає в пропус-
канні світла з випромінювального елемента крізь
рідкокристалічний чутливий елемент, який під
дією речовини-маркера поступово переходить
в ізотропний стан. Відповідну зміну інтенсивності
пропускання чутливого елемента реєструє при-
ймальний модуль з фотодіодами (рис. 2). Викорис-
таний фотодіодний модуль дає змогу визначати
інтенсивності пропускання окремо для трьох спек-
тральних складових. Для аналізу та оброблення
вхідних сигналів використовується вбудований
мікроконтролер, який в процесі вимірювання ана-
лізує загальний рівень освітлення і на основі чого
вимірює дійсні значення інтенсивності по кож-
ному каналу. Інформація з приймального модуля
відправляється на мікроконтролер, а далі, через
інтерфейс USB, на персональний комп'ютер, де
дані відображаються графічно за допомогою спе-
ціального програмного забезпечення.

Загальний вигляд апаратної частини комп-
лексу та його основні елементи представлено
на рис. 3.

На основі розробленого апаратно-програм-
ного комплексу для аналізу характеру переходу
рідкокристалічної речовини під впливом пари
ацетону ми дослідили характер зміни кроку
холестеричної спіралі під час перехідного про-
цесу в ізотропний стан.

Так, отримані графіки чітко відобража-
ють перехідні процеси розтягнуті в часі. На
рис. 4, 5 можна спостерігати зміну інтенсивності
пропускання для трьох спектральних складових
під дією незначної концентрації парів ацетону.

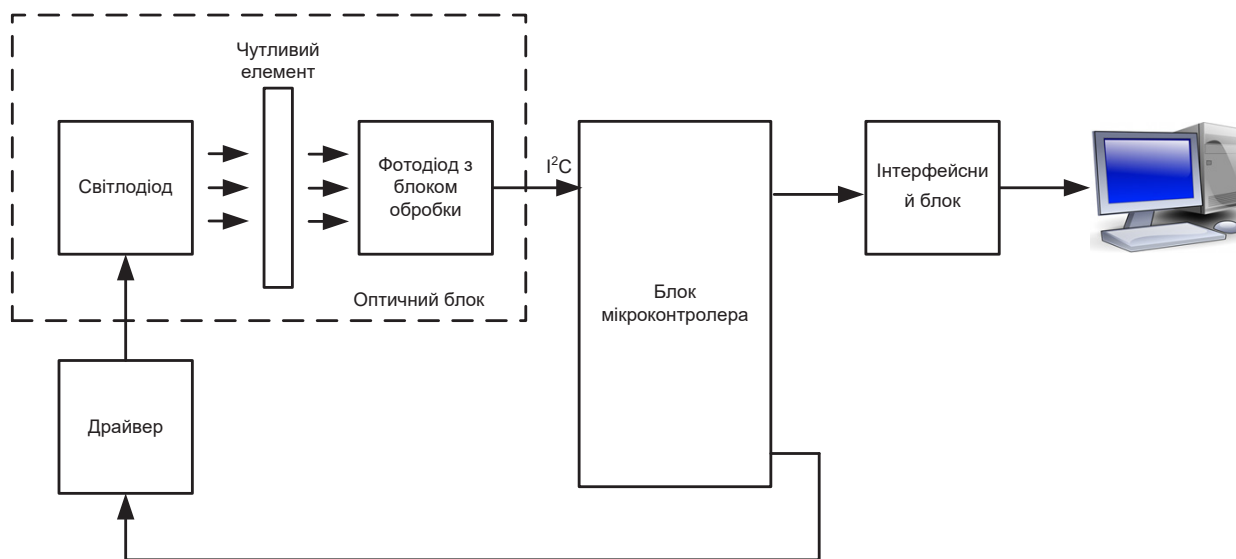


Рисунок 2 – Структура апаратно-програмного комплексу для дослідження характеристик рідкокристалічних чутливих елементів

Максимальні значення інтенсивності пропускання досягаються через 3–5 хвилин проведення вимірювання, коли рідкокристалічна суміш повністю переходить в ізотропний стан.

Такі характеристики інтенсивності пропускання ХРК можна отримати і під впливом інших органічних речовин та встановити залежність переходу рідкокристалічного чутливого елемента в ізотропний стан від концентрації аналіта.

Відповідно до візуальних спостережень зміни стану рідкого кристала в ході проведення експерименту можна говорити про повну прозорість рідкокристалічної суміші під час кожного вимірювання, що свідчить про перехід в ізотропний стан. Основна відмінність для різних концентрацій аналіта полягає в часі, необхідному для досягнення рідкокристалічною сумішшю ізотропного стану.

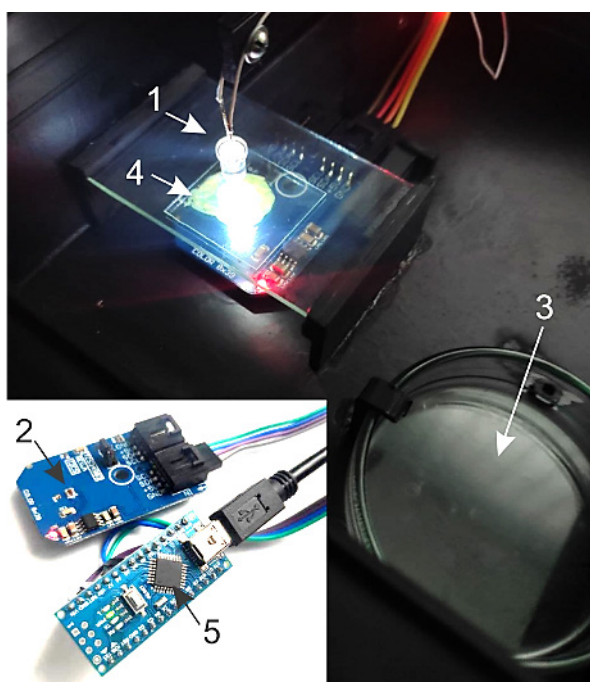
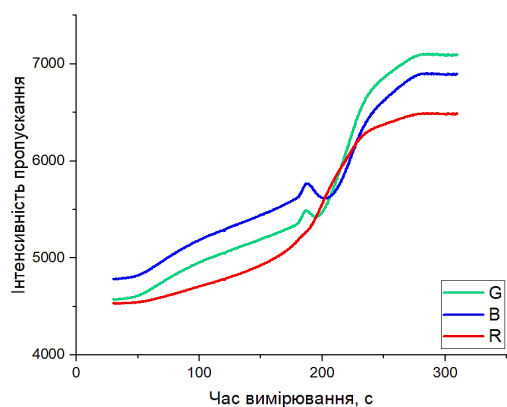
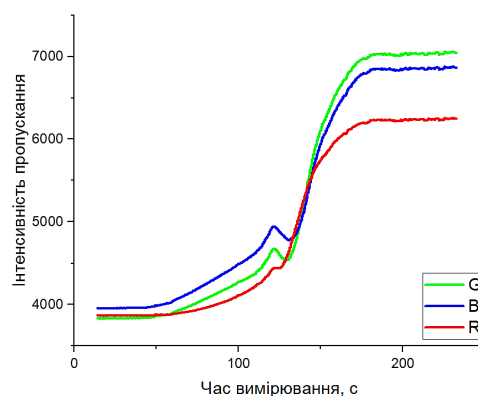


Рисунок 3 – Будова та основні елементи апаратної частини комплексу:
 1 – оптичні випромінювачі; 2 – приймальний модуль з фотодіодами (TCS34903);
 3 – резервуар для речовин-маркерів; 4 – чутливий рідкокристалічний елемент;
 5 – система на кристалі; 6 – персональний комп'ютер



а)



б)

Рисунок 4, 5 – Залежність інтенсивності пропускання від часу (а – концентрація ацетону 0.1 мл (60 ppm), б – концентрація ацетону 0,2 мл (120 ppm))

ЛІТЕРАТУРА

1. Paterson D.A., Du X., Bao P., Jones J.C., Gleeson H.F. Chiral nematic liquid crystal droplets as a basis for sensor systems. *Molecular Systems Design and Engineering* 2022.
2. Ailincă Daniela, Pamfil Daniela, Marin Luminita Multiple bio-responsive polymer dispersed liquid crystal composites for sensing applications. *Journal of Molecular Liquids*. Volume 272, Pages 572–582. 15 December 2018.
3. Mykytyuk Z., Barylo G., Virt V., Diskovskyi I., Rudyak Y. Optoelectronic Sensor Based on Liquid Crystal Substances for the Monitoring of Amino Acids. 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings, 2019, pp. 177–180, 8632115.
4. Khanikar T., De M., Singh V. K. A review on infiltrated or liquid core fiber optic SPR sensors. 2021. *Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications* 46, 100945.
5. Huang Z., Yi M., Xu Y., Song A., Hao J. Fluorescent magnetic ionic liquids with multiple responses to temperature, humidity and organic vapors. 2021 *Journal of Materials Chemistry C* 9(38), pp. 13276–13285.
6. Prystay T., Petryshak V., Vistak M., Sushynskyi O., Mikityuk Z. Dynamic characteristics of a nanocomposite on the basis of porous Al₂O₃ doped by liquid crystal with magnetite under carbon monoxide influence. *Photonics Letters of Poland*. – 2016 – 8 (4), pp. 119–121.
7. Barylo G. I., Ivakh M. S., Mykytiuk Z. M., Kremer I. P. Optical-electronic monitoring system of biomedical indicators. *Physics and Chemistry of Solid State*, 2020, 21 (4), pp. 779–784.
8. Xue H., Liu D., Chi D., Han Z., Ren L. Toward the Burgeoning Optical Sensors with Ultra-Precision Hierarchical Structures Inspired by Butterflies Advanced Materials Interfaces 2021, 8 (15), 2100142.
9. Khan Mashooqa, Liu Shuyac, Lubinc Chunxiaa, Munir Sundasd, Yu Li, Hu, Qiongzhen Liquid crystal-based sensors for the detection of biomarkers at the aqueous/LC interface. *TrAC – Trends in Analytical Chemistry* Volume 144 November 2021 Article number 116434.
10. He C., Korposh S., Correia R., Hayes-Gill B. R., Morgan S. P. Optical fibre sensor for simultaneous temperature and relative humidity measurement: Towards absolute humidity evaluation. 2021 *Sensors and Actuators B: Chemical* 344, 130154.
11. Myung D.-B., Hussain S., Park S.-Y. Photonic calcium and humidity array sensor prepared with reactive cholesteric liquid crystal mesogens. *Sensors and Actuators* 2019, B: Chemical 298, 126894.
12. Kemiklioglu Eminea, Gurboga, Berfina, Tuncgovde Ebru Busra Development an optical sensor using lyotropic cholesteric liquid crystals for the detection of toxic gases. *Optik* Volume 248, December 2021. Article number 168110.
13. Xie H., Wang L., Wang H., Yang Z., Yang H. Electrically tunable properties of wideband-absorptive and reflection-selective films based on multi-dichroic dye-doped cholesteric liquid crystals. *Liquid Crystals* 2015 42 (12), pp. 1698–1705.
14. Shibaev P. V., Wenzlick M., Murray J., Tantillo A., Howard-Jennings J. Liquid Crystalline Compositions as Gas Sensors. *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 2015 611 (1), pp. 94–99.

STUDY OF THE DURATION OF TRANSIENT PROCESSES DURING THE INTERACTION OF A MIXTURE OF LIQUID CRYSTALS WITH VAPORS OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS

Hryhorii Barylo

Doctor of Engineering,

Professor at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, hryhorii.i.barylo@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0001-5749-9242

Zynovii Mykytiuk

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,

Professor at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, zynovii.m.mykytiuk@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0001-7476-6031

Iryna Kremer

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, iryna.p.kremer@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0003-2362-1195

Yurii Kachurak

Postgraduate Student at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, yurii.m.kachurak@lpnu.ua

Nazar Barylo

Student at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, nazar.barylo.el.2019@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0002-9101-3768

The work is devoted to the study of the influence of transients on the spectral characteristics of cholesteric liquid crystals (CLC) in the process of interaction with volatile compounds. The duration of transients is an important parameter in the process of building optical sensors with a sensitive element based on CLC. The measurement accuracy of such a sensor is determined by the parameters of the spectral response at the end of the transients. As a result of the conducted researches dependences of time of reaction of CLC on change of surrounding gas environment are established. The values of the duration of transient processes of SRC for different levels of concentration of the surrounding gas environment are obtained. To conduct research on spectral characteristics and determine the duration of transients, a hardware-software system based on the modern integrated multi-channel photoconverter TCS3490 (AMS) and the widespread information and computing platform Arduino was developed.

Key words: optical sensor, spectral characteristic, liquid crystals, cholesterol-nematic mixture.

Стаття надійшла 11.03.2022

ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ СТРУМОЗБИРАЮЧОЇ ГРЕБІНКИ ПРИ ФОРМУВАННІ АНТИВІДБІВНИХ ШАРІВ ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТА

Валерій Єрохов

доктор технічних наук,
професор кафедри напівпровідникової електроніки

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандера, 12, Львів, Україна, 79013,
v.yerokhov@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-5358-6103

Ігор Скрипник

аспірант кафедри напівпровідникової електроніки

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандера, 12, Львів, Україна, 79013,
igor.i.skrypnyk@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0002-9752-3128

Розробка нових систем фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) веде до зниження вартості і підвищення технічних і фотоелектричних параметрів структури сонячних елементів (СЕ). Зазначені обставини стимулюють розробку оптимізованих технологій отримання СЕ з використанням поруватих шарів, АВП і технологічно правильно нанесеної фронтальної контактної системи на поверхню СЕ, які в перспективі могли б замінити традиційні, були б набагато дешевші. Метою роботи було формування антивідбивних шарів поруватого кремнію на поверхні структури СЕ при наявності на робочій поверхні струмозбираючої гребінки і вивчення стану фронтальної контактної системи СЕ після проведення травлення з допомогою спектральних характеристик. Технологічний процес формування фронтальної контактної системи включав послідовне термовакuumне напилення на кремнієву поверхню через металічні трафарети шарів титану (Ti), паладію (Pd) та срібла (Ag) товщинами 30 нм, 20 нм та 30 нм відповідно. Ширина контактних пальців при цьому становила 30 мкм, при відстані між ними більше 1 мм. При цьому загальна площа затінення робочої поверхні не перевищувала 5 %. Для зменшення контактного опору товщина шару Ag була збільшена гальванічним методом до 25 мкм. На завершальному етапі створення контактної гребінки проводився відпал одержаних структур у атмосфері азоту з 5 % вмістом водню при температурі 400 °C на протязі 20 хв.

Ключові слова: електрохімія, кремній, сонячний елемент, поруватий кремній; текстура, струмозбираюча гребінка.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогоднішній день більше 2 мільярдів людей на планеті все ще залежать від газу, дров, вугілля і нафти для приготування їжі і обігріву приміщень. Це, приводить до значних негативних наслідків для здоров'я людей, їх навколишнього середовища, економічного розвитку, а інколи і війн між державами. І вже в найближчі десятиріччя виробники енергії зіткнуться з нестачею природного палива (нафти, газу, вугілля), а також з такими проблемами, як катастрофічне забруднення навколишнього середовища, до якого приводить спалювання цього палива, та потенційна небезпека ядерної енергетики. Отже, постає необхідність одержання дешевої енергії з використанням відновлювальних джерел живлення при мінімальному впливі на навколишнє середовище [1].

Широке впровадження фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) різного рівня потужності, як джерела живлення електронних приладів, є найбільш перспективним способом використання сонячної енергії. Це пов'язано з виснаженням запасів енергетичної сировини на Землі та безперервним зростанням потреб людства в дешевій електричній енергії.

Сонячні батареї (СБ), як джерело електроенергії, сьогодні вже важко назвати чимось незвичним. Уперше їх почали застосовувати для енергозабезпечення космічних станцій більше 40 років тому і сьогодні сонячні батареї міцно ввійшли в побут як джерело екологічно чистої і безкоштовної енергії [1; 2]. Сьогодні глобальний попит на електроенергію значно більше зростає кожного дня, через зростання населення та промислову еволюцію [3]. Це спричиняє різні

екологічні наслідки для навколишнього середовища. Фотоелектрична сонячна енергія має стати альтернативою для генерування струму, оскільки вона має наявність невичерпних ресурсів, не вимагає великої інфраструктури, практична і безпечна і саме головне, не викликає екологічні наслідки [4]. Це привело до збільшення за останні роки більш ніж на 25 % ринку фотоелектричної сонячної енергії в таких країнах, як Китай, Німеччина, Японія і США.

Сьогодні ця технологія добре позиціонується по відношенню до інших видів поновлюваних джерел енергії через свою простоту, щоб використовуватись в ізольованих мережах сільських місцевостях, гірських районах, островах, що потребують технічного обслуговування. Вона проста, модульна і дуже універсальна, адаптується до різних ситуацій. Однак, ще є місце для подальшого покращення, в основному в сонячних батареях, які є найбільш важливими елементами для цього виду енергії [5; 6].

Прагнення до зниження вартості і підвищення технічних і фотоелектричних параметрів веде до розробки нових систем [7]. Ефективним способом зменшення втрат і збільшення ефективності СЕ, обумовлених відбиванням випромінювання можуть слугувати антивідбивні покриття (АВП), текстури і технологічно правильно і ефективно нанесені фронтальні контактні системи на поверхню СЕ [8].

Зазначені обставини стимулюють розробку оптимізованих технологій отримання СЕ з використанням поруватих шарів, АВП і технологічно правильно нанесеної фронтальної контактної системи на поверхню СЕ, які в перспективі могли б замінити традиційні, були б набагато дешевші [9; 10; 11].

МЕТА ЦІЄЇ СТАТТІ: Метою роботи було формування антивідбивних шарів поруватого кремнію на поверхні структури СЕ при наявності на робочій поверхні струмозбираючої гребінки і вивчення стану фронтальної контактної системи СЕ після проведення травлення з допомогою спектральних характеристик.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Оптимізація технології електрохімічного формування шарів поруватого кремнію дозволила суттєво покращити їх антивідбивні та пасивні властивості. Технології створення текстур фронтальної поверхні ФЕП базуються на процесі розчинення поверхневого шару кремнію в розчинах на основі фтористоводневої кислоти. По мірі покриття поверхні зв'язками Si-O-Si реакція роз-

чинення стає менш активною і припиняється при утворенні суцільної оксидної плівки.

За таких умов вплив високого питомого опору поруватого кремнію ($\sim 10^6 \div 10^7$ Ом·см) на послідовний опір структури СЕ буде знаходитись в допустимих межах. Згідно другій вимозі формування шарів поруватого кремнію є найбільш доцільним на завершальному етапі створення структури СЕ, після нанесення на його фронтальну поверхню контактної гребінки. При цьому немає необхідності проведення фотолітографії, що є необхідно у випадку формування поруватого кремнію перед створенням контактної системи. Слід зауважити, що при цьому необхідно врахувати можливе пошкодження контактної гребінки в процесі електрохімічної обробки структури СЕ в електроліті. У зв'язку із цим виникає необхідність дослідження впливу процесу формування антивідбивного покриття на основі поруватого кремнію на стан фронтальної контактної системи СЕ.

Для дослідження впливу електрохімічного травлення на стан фронтальної контактної системи СЕ було проведено ряд експериментів по вирощуванню оптимізованих шарів поруватого кремнію на зразках СЕ з повністю сформованими структурами без антивідбивного покриття.

Для оптимізації було проведено побудову спектру відбивання шару поруватого кремнію в залежності від його товщини та значення показника заломлення. Одержані результати свідчать про те, що у вибраному спектральному діапазоні мінімальне відбивання від поверхні поруватого шару досягається у випадку, коли товщина поруватого кремнію знаходиться у межах від 70 до 100 нм, а показник заломлення – від 1,35 до 1,9. Дані значення оптичних параметрів поруватого шару отримуються їх вирощуванням на протязі 2–6 с при густині анодного струму 40–100 мА/см².

Зведені результати експериментального дослідження впливу густини анодного струму та тривалості анодування на величину інтегрального коефіцієнта відбивання поруватого кремнію в діапазоні 550 ÷ 850 нм зображені на рис. 1. Як для залежності коефіцієнта відбивання від анодного струму, так і для його залежності від часу анодування спостерігається область мінімального відбивання. Це дозволяє звужити досліджуваний діапазон оптимальних технологічних умов. Однак, такий хід оптимізації пов'язаний з необхідністю проведення великої кількості експериментів по оптичній спектроскопії шарів поруватого кремнію [12; 13; 14], сформованих при різних значен-

нях густини анодного струму та часу анодування. Це пов'язано, насамперед, з тим, що сукупний вплив даних технологічних умов на антивідбивні властивості поруватого кремнію є багатограним та складним.

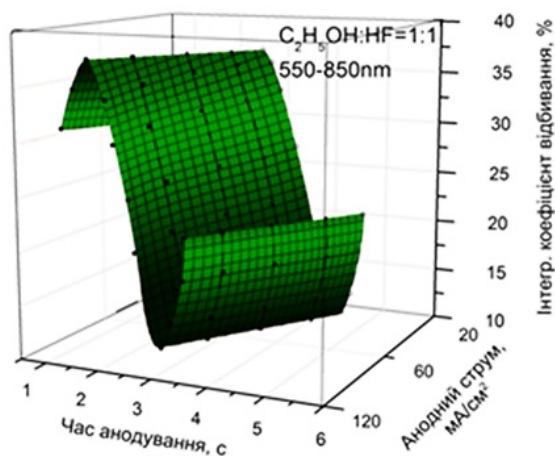


Рисунок 1 – Експериментальна залежність інтегрального коефіцієнта відбивання шару поруватого кремнію в діапазоні 550 ÷ 850 нм від технологічних умов його росту, густини анодного струму і тривалості електрохімічного анодування

Власне технологічний процес формування фронтальної контактної системи включав послідовне термовакуумне напылення на кремнієву поверхню через металічні трафарети шарів титану (Ti), паладію (Pd) та срібла (Ag) товщинами 30 нм, 20 нм та 30 нм відповідно. Ширина контактних пальців при цьому становила 30 мкм, при відстані між ними більше 1 мм.

При цьому загальна площа затінення робочої поверхні не перевищувала 5 %. Для зменшення контактного опору товщина шару Ag була збільшена гальванічним методом до 25 мкм. На завершальному етапі створення контактної гребінки проводився відпал одержаних структур у атмосфері азоту з 5 % вмістом водню при температурі 400 °C на протязі 20 хв. Фрагмент конфігурації фронтальної контактної гребінки приведено на рис. 3, б.

Дослідженням електрохімічного анодування структур зі сформованою на робочій поверхні контактної системою встановлено, що стан струмозбираючої гребінки є найбільш чутливим до концентрації фтористоводневої кислоти в електроліті та часу анодування [13; 14; 15]. Було виявлено, що для всіх робочих електролітів існує певне критичне значення часу перебування структури SE в електроліті, перевищення якого призво-

дить до пошкодження контактних пальців фронтальної струмозбираючої гребінки. Зокрема, при анодуванні в електроліті $C_2H_5OH:HF = 1:1$ критичний час становить 45 с [16; 17; 18].

За допомогою скануючого електронного мікроскопа проведені дослідження характеру пошкоджень фронтальної контактної системи показали, що в процесі електрохімічної обробки в основному має місце відшарування контактних пальців струмозбираючої гребінки (рис. 2). Оскільки в місці контакту з кремнієвою поверхнею спостерігаються залишки контактної металізації (показано стрілкою на рис. 3), а відшарування зазнає тільки товстий шар срібла, то напевно, що таке явище не є результатом незадовільної адгезії чи бокового підтравлювання контактних пальців зі сторони кремнієвої поверхні.

Найбільш імовірно, що в даному випадку відбувається підтравлювання адгезійного шару Ti, що є нестійким до фтористоводневої кислоти (HF). Шари Ag та Pd не зазнають травлення в HF (в ряді напруг Ag та Pd розташовані справа від водню) і деформуються як завдяки власним механічним напруженням, так і за рахунок інтенсивного газовиділення в процесі анодування.

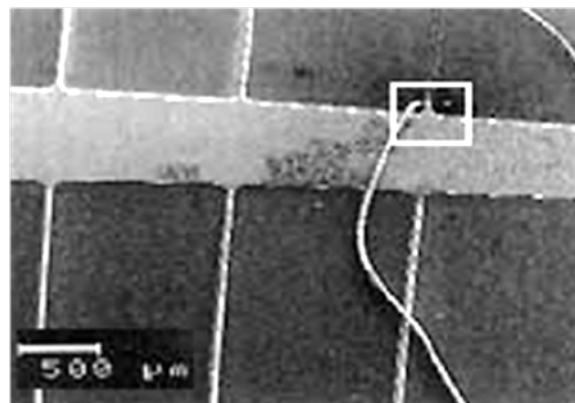


Рисунок 2 – Світлини лінійки з пальцями фронтальної струмозбираючої гребінки (маркер 500 мкм) після електрохімічного анодування структури SE в розчині $C_2H_5OH:HF = 1:1$ протягом 45 с (струмозбираюча гребінка відстала від поверхні кремнієвої підкладки)

Аналіз результатів дослідження впливу електрохімічного анодування на стан фронтальної контактної системи дає підстави вважати, що ріст антивідбивного шару поруватого кремнію на поверхні структури SE може бути здійснено і при наявності на робочій поверхні струмозбираючої гребінки.

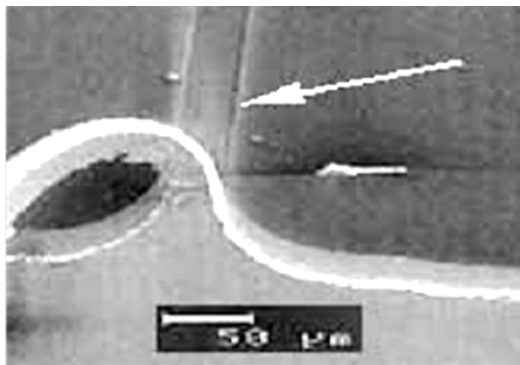


Рисунок 3 – Фрагмент світлин лінійки з пошкодженими пальцями після травлення фронтальної струмозбираючої гребінки (маркер 50 мкм) після електрохімічного анодування структури СЕ в розчині $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{HF} = 1:1$ протягом 45 с (струмозбираюча гребінка відстала від поверхні кремнієвої підкладки)

Для запобігання її пошкодження в процесі анодування необхідно максимально мінімізувати час перебування структури СЕ в електроліті та зменшити вміст у ньому фтористоводневої кислоти. Однак результати досліджень свідчать про те, що надмірне зменшення концентрації HF в електроліті веде до погіршення антивідбивних властивостей створених шарів поруватого кремнію [16]. Тому оптимізацію умов електрохімічного анодування більш доцільно здійснювати за рахунок зменшення тривалості анодного оброблення.

РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ. Таким чином, з метою усунення пошкодження контактної гребінки під час анодування тривалість електрохімічного оброблення зменшується до 3–6 секунд (рис. 1). При цьому величина забезпечення значення анодного заряду залишалась у діапазоні оптимальних значень, що досягалося за рахунок збільшення величини анодного струму [19; 20; 21]. Завдяки удосконаленій конструкції електрохімічної комірки була збільшена тривалість перебування структури СЕ в електроліті до 12–15 с. Таким чином описані та проведені удосконалення технологічного процесу дозволили уникнути пошкодження контактної гребінки СЕ під час формування на його фронтальній поверхні антивідбивного покриття на основі шару поруватого кремнію.

В результаті цього на поверхні p^+ -емітера виникне від'ємний заряд поверхневих станів, що буде скомпенсовуватись позитивним зарядом в приповерхневій області напівпровідника. Висота утвореного при цьому потенційного бар'єру зростає при подальшій адсорбції водню,

що приводить до сповільнення даного процесу. Виходячи з цього, можна зробити висновок, як про недоцільність збільшення катодного струму вище 10 mA/cm^2 , так і про недостатню ефективність гідрогенізації з меншою густиною струму.

Вимірювання вихідних електричних характеристик СЕ, до- та після формування на їх поверхні антивідбивного покриття на основі шару поруватого кремнію, проводилось з використанням імітатора сонячного світла для спектру АМ 1,5.

На основі узагальнення отриманих експериментальних результатів було виявлено механізм та ступінь впливу фронтального шару поруватого кремнію на вихідні параметри досліджуваних СЕ. Встановлено, що як для монокристалічних, так і для мультикристалічних СЕ найбільший ефект від використання в їх структурі шару поруватого кремнію досягається для струму короткого замикання I_{sc} .

Для обох типів СЕ приріст фотоструму перевищує 50 %. В той же час для усіх досліджених СЕ спостерігалось зменшення напруги неробочого ходу V_{oc} , яке знаходилося в межах 2,5 % [22; 23; 24].

Більш суттєвої деградації зазнав фактор заповнення FF – 10,7 % та 18,8 % для моно- та мультикристалічних СЕ відповідно. Незважаючи на це, для всіх елементів дослідної серії було одержано суттєвий приріст ефективності. Для кращих мультикристалічних СЕ ефективність фотовольтаїчного перетворення після формування на їх поверхні шару поруватого кремнію зросла з 11,3 % до 14,5 %, що становить приблизно 31 %.

Спектри відбивання текстурованих зразків з антивідбивним покриттям на основі поруватого кремнію, сформованих при оптимальних значеннях анодного заряду, зображено на рис. 4.

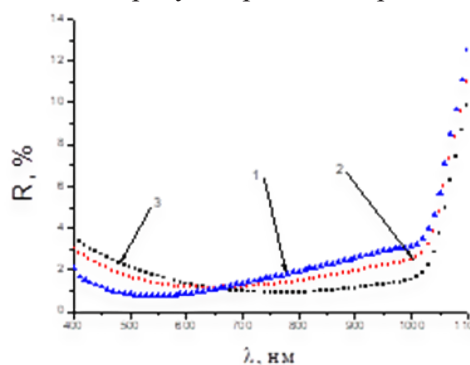


Рисунок 4 – Спектри коефіцієнта відбивання шарів поруватого кремнію, сформовані на підкладці кремнію з текстурованою поверхнею при різних значеннях анодного заряду: 1 – $0,4 \text{ Кл/см}^2$; 2 – $0,5 \text{ Кл/см}^2$; 3 – $0,59 \text{ Кл/см}^2$

ВИСНОВКИ. Із отриманих спектральних характеристик можна зробити висновок, що про-світлення текстурованої поверхні шаром пору-ватого кремнію є більш ефективним, ніж вико-ристання типових антивідбивних покриттів. Так, при використанні шару поруватого кремнію, інтегральний коефіцієнт відбивання в діапазоні 400 ÷ 1100 нм зменшується до 2.4 %, в той час як застосування шару SiO₂ дозволяє знизити інте-гральний коефіцієнт відбивання в даному діа-пазоні тільки до 3 %. Мінімальне відбивання від текстурованої поверхні з антивідбивним покрит-тям на основі поруватого кремнію, що досяга-ється для довжини хвилі 550 нм становить 0,77 % і є співрозмірним зі значеннями для структуро-ваної поверхні з антивідбивним покриттям на основі MgF₂/ZnS.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kazmerski L. Photovoltaics: A review of cell and module technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1997. 1 (1–2). P. 71–170.
2. Tasmia R., Ruy S., et al. Passivation of all-angle black surfaces for silicon solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2017. 160. P. 444–453. doi.org/10.1016/j.solmat.2016.10.044
3. Huang H., Lv J., Bao Y., Xuan R., Sun S. 20.8 % industrial PERC solar cell: ALD Al₂O₃ rear surface passivation, efficiency loss mechanisms analysis and roadmap to 24 %. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2017. 161. P. 14–30.
4. Yerokhov V., Ierokhova O. Improved porous silicon-based multifunctional materials for the solar cells antireflection coating. *2016 International Conference on Electronics and Information Technology. EIT 2016. Conference Proceedings, Ukraine*. 2016. P. 49–52.
5. Hamamoto S., Ishihara T., Sato T., Fujikawa M. Investigation for 19 % efficiency at multi-crystalline Si solar cells by industrially probable approach. *24th EUPVSEC*. Germany. 2009. P. 1410–1413.
6. Druzhinin A., Nichkalo S., et al. Texturing of the silicon substrate with nanopores and Si nanowires for anti-reflecting surfaces of solar cells. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2015. 7 (2). P. 1–6.
7. Druzhinin A., Nichkalo S., et al. Micro- and nanotextured silicon for antireflective coatings of solar cells. *Journal of Nano Research*. 2016. 39. P. 89–95.
8. Yerokhov V., Ierokhova O. Coatings of the Black-Silicon type for silicone solar cells. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016*. 2016. P. 388–391.
9. Alia J. M. Y., Shanmugama V., Khannaa A., Wanga P. Analysis of nanosecond and femtosecond laser ablation of rear dielectrics of silicon wafer solar. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2019. 192. P. 117–122.
10. Macabebe E. Q. B., Sheppard C. J., Van Dyk E. E. Parameter extraction from I–V characteristics of PV devices. *Solar Energy*. 2011. 85 (1). P. 12–18.
11. Glunz S. W. High-efficiency crystalline silicon solar cells. *Adv. Optoelectron*, 2007. 1. P. 1–27.
12. Dzhaferov T., Bayramov A. Porous silicon and solar cells. *Handbook of Porous Silicon: Second Edition*. 2018. 2-2. P. 1479–1492.
13. Nelson J. The Physics of Solar cells. *Imperial College Press*. 2003. London.
14. Bucher E. Solar cell materials and their basic parameters. *Appl. Phys*. 1978. 17. P. 1–25.
15. Shivaganaik H., Jangamshetti S. H. Modeling and analysis of multi-junction solar cells. *International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology. ICETECT 2011*. 2011. P. 174–179.
16. Lehmann V., Ronnebeck S. The Physics of Macropore Formation in Low-Doped p-Type Silicon. *Journal of the Electrochemical Society*. 1999. 146. P. 2968. doi: 10.1149/1.1392037
17. Zhang X. G. Morphology and Formation Mechanisms of Porous Silicon. *Journal of The Electrochemical Society*. 2004. 151 (1). P. 69. doi: 10.1149/1.1632477
18. Derbali L., Ezzaouia H. Electrical properties improvement of multicrystalline silicon solar cells using a combination of porous silicon and vanadium oxide treatment. *Applied Surface Science*. 2013. 271. P. 234–239. doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.01.166
19. Eisenlohr J., Tucher N. et al. Efficiency increase of crystalline silicon solar cells with nano-imprinted rear side gratings for enhanced light trapping. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2016. 155. P. 288–293.
20. De Vos A. Photovoltaics in a single dimension. *Solid-State Electron*. 1997. 30. P. 853–858.
21. Yu P. Y., Cardona M. Fundamentals of Semiconductors. *Physics and Materials Properties*. 2-nded. Springer. 1999. Berlin. P. 195.
22. Yerokhov V., Melnyk I. Influence of external bias on photoelectric properties of silicon MIS/IL structures. *Solid-State Electronics*. 1998. 42 (6). P. 883–889.
23. Shiraz H. G., Astaraei F. R., Tavakoli O., Mousavi S. H., Rahimi F. The effect of a porous layer on I–V characterization of a polysilicon p-n junction. *Silicon*. 2018. 10 (2). P. 205–210.

TECHNOLOGY OF USING CURRENT-COLLECTING COMB IN THE FORMATION OF ANTI-REFLECTIVE LAYERS OF POROUS SILICON SOLAR CELL

Valery Yerokhov

Doctor of Engineering,

Professor at the Department of Semiconductor Electronics

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandera str., Lviv, Ukraine, 79013, v.yerokhov@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-5358-6103**Ihor Skrypnyk**

Postgraduate Student at the Department of Semiconductor Electronics

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandera str., Lviv, Ukraine, 79013, ihor.i.skrypnyk@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0002-9752-3128

Purpose. The aim of the work was to form antireflective layers of porous silicon on the surface of the SC structure in the presence of a current-collecting comb on the working surface and to study the state of the frontal SC contact system after etching using spectral characteristics. Optimization of the technology of electrochemical formation of porous silicon layers has significantly improved frontal layers antireflective and passive properties. **Methodology.** The study of all stages of formation of hydrogenated porous structure and identification of technological patterns that affect the characteristics of the obtained nano-, meso-, macropores are very important, because most of the porous parameters are laid at the stage of formation of nucleation (seed) centers. In order to improve the passivating properties of PSi layers used in solar cells, the process of electrochemical hydrogenation of PSi as on p – type silicon substrates with a resistivity of $0.1 \div 10 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$ also on substrates with a formed emitter junction $n^+ - p$ of conductivity was studied. Various solutions were used as the electrolyte, such as (HF: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=1:1$), (HF: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=1:2$) and so on. The current density and anodizing time varied over a wide range of values, which allowed the formation of PSi layers with different porosity and thickness. A solution of HF: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=1:1$ was used as the electrolyte. The anodizing current and time varied over a wide range of values to obtain PSi layers with different porosity and thickness. To determine the conditions of the process of electrochemical hydrogenation of PSi during its cathodic polarization, potentiostatic current-voltage curves of the system Pt (anode)-electrolyte-porous silicon/ silicon (cathode) for electrolytes with different chemical composition were taken. **Finding.** Comparison of the surface appearance of Baysix type multicrystalline silicon samples before and after hydrogen hydrogenation in an electrolyte based on hydrofluoric acid ((HF: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=10:1$), (HF: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=10:2$) and so on), both in the secondary ion Spectra and in the image of the distribution of elements over the surface (mass spectral ion microscope and Ion microzond mode). **Originality.** We get a 2D image (size 200×200 microns) of the surface of the current of secondary ions H^+ hydrogen and 2D image of the secondary ion current of molecular SiH_2^+ the surface of a Baysix type multicrystalline substrate passivated with hydrogen by hydrogenation, which is comparable to the optical image of a pure silicon surface that has been hydrogenated. From the form of 2D-ion images, as well as their individual parts, it can be seen that all the difference in the current intensity of the secondary ions is due to the topography of the surface of the samples. **Practical value.** The prospects of creating efficient solar cells using multifunctional multi-textures of porous silicon are shown. References 23, figures 4.

Key words: hydrogenation, mass-spectroscopy, electrochemistry, silicon, solar cell, porous silicon, texture.

Стаття надійшла 07.03.2022

ВІСНИК

Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Випуск 1/2022 (132)

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Олена Сергіївна Данильченко

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 26,04. Замов. № 0822/327. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.