

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет
будівництва і архітектури

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут телекомунікацій
і глобального інформаційного простору

Екологічна безпека та природокористування

Environmental safety and natural resources

Збірник наукових праць

ВИПУСК **35**

2020

**Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури
Національна академія наук України
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору**

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Kyiv National University of Construction and Architecture
National Academy of Sciences of Ukraine
Institute of Telecommunications and Global Information Space**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ENVIRONMENTAL SAFETY AND
NATURAL RESOURCES**

Збірник наукових праць

Випуск 3 (35), липень-вересень 2020 р.

Заснований у 2008 р.
Виходить 4 рази на рік

Academic journal

Issue 3 (35), July-September 2020

Founded in 2008
The journal is published 4 volume a year

КИЇВ 2020

KYIV 2020

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор: О.М. Трофимчук, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
Заступник головного редактора: О.С. Волошкіна, д-р техн. наук, проф.

Члени редколегії:

Биченок М.М., д-р техн. наук
Бойко І.П., д-р техн. наук, проф.
Довгий С.О., д-р фіз.-мат. наук, проф., академік НАНУ
Калюх Ю.І., д-р техн. наук, проф.
Качинський А.Б., д-р техн. наук, проф.
Коржнєв М.М., д-р геол.-мін. наук, проф.
Кочетов Г.М., д-р техн. наук, проф.
Кривомаз Т.І., д-р техн. наук, проф.

Олійник О.Я., д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
Павлишин В.І., д-р геол.-мін. наук, проф.
Приймак О.В., д-р техн. наук, проф.
Рудько Г.І., д-р техн. наук, д-р геол.-мін. наук, д-р геогр. наук, проф.
Триснюк В.М., д-р техн. наук
Яковлев Є.О., д-р техн. наук

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

М.-Й. Валері, професор, Польща
Н. Касаглі, професор, Італія
Н. Маргвєлашвілі, PhD, Австралія
Д. Мінтер, професор, Великобританія
А. Мішо, дослідник, Франція

М.Г. Мустафаєв, д-р аграрних наук, член-кор. РАЕ, Азербайджан
Я. Пекутін, професор, Польща
Пінг Лу, професор, Китай
Г. Собчук, професор, Польща

Рекомендовано до друку Вченою радою
Київського національного університету будівництва і архітектури
(протокол № 33 від 10.09.2020 р.)

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія "Б"), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук за напрямом «технічні науки» (Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 № 886)

ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЗБІРНИКА

- Екологічна безпека
- Основи природокористування
- Інформаційні ресурси та системи
- Дискусійні повідомлення

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ
03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України
Телефони: (044) 245-87-97
(044) 524-22-62
E-mail: e.voloshki@gmail.com

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 14146-3117 Р від 27.05.2008 р.

Електронна версія збірника в Інтернеті
<http://www.es-journal.in.ua> українською
та англійською мовами



Creative Commons «Attribution» 4.0 WorldWide

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Трофимчук О.М., Курасва І.В., Азімов О.Т., Кармазиненко С.П., Злобіна К.С.

Геохімічні характеристики ґрунтових утворень районів захоронення побутових відходів за результатами екологічних досліджень..... 5

Sadicov G.N., Kyrienko P.G., Lobov S.O.

Comprehensive content of safety of vital activity 22

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Самченко Д.М., Кочетов Г.М., Васильєв А.

Енергоощадна технологія переробки гальванічних шламів з одержанням радіопоглинаючих матеріалів..... 30

Ткаченко Т.М., Прокопенко І.О.

Розрахунок утриманого поверхневого стоку покрівлею німецького виробника..... 44

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

Хомицький В.В., Островерх Б.М., Ткаченко В.А., Воскобійник В.А., Терещенко Л.М.

Удосконалення захисної огорожувальної дамби морського підхідного каналу Дунай-Чорне море..... 57

Горбань І.М., Корольова А.С., Соколовський Г.П., Романенко П.Ю., Срібнюк С.М.

Фізичне моделювання розмиву донних заглиблень..... 78

Іщенко Ю.І., Вусатюк А.Є.

Врахування динамічних впливів на геотехнічні споруди в умовах ущільненої міської забудови на прикладі м. Києва..... 94

ДО ВІДОМА АВТОРІВ..... 111

CONTENTS

ENVIRONMENTAL SAFETY

Trofymchuk O.M., Kuraeva I.V., Azimov O.T., Karmazinenko S.P., Zlobina K.S.

Geochemical characteristics for the soil deposits within the municipal waste disposal areas by the environment study results..... 5

Sadikov G.N., Kyrienko P.G., Lobov S.O.

Comprehensive content of safety of vital activity 22

NATURAL RESOURCES

Samchenko D.N., Kochetov G.M., Vasiliev A.

Energy-saving technology for processing of galvanic sludge with obtaining of radio-absorbing materials..... 30

Tkachenko T.M., Prokopenko I.O.

Calculation of maintenance of surface drainage roofing of a German manufacturer..... 44

INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

Khomicky V.V., Ostroverkh B.M., Tkachenko V.A., Voskoboinick V.A., Tereshchenko L.M.

Improvement of protection dam of the marine approach channel Danube-Black Sea..... 57

Gorban I.M., Korolova A.S., Sokolovsky G.P., Romanenko P.Y., Srebnyuk S.M.

Physical simulation of erosion of bottom pits..... 78

Ischenko Y., Vusatiuk A.

Taking into account dynamic influences on geotechnical structures in conditions of compaced urban buildings on the example of Kyiv..... 94

INFORMATION FOR AUTHORS..... 111

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

UDK (550.4:550.42):628.542](477)

Oleksandr M. Trofymchuk¹, D. S. (Engineering), Professor, Corresponding Member of NASU, Director
ORCID ID 0000-0003-3782-4209 *e-mail*: itelua@kv.ukrtel.net

Iryna V. Kuraeva², D. S. (Geology), Professor, Head of Department
ORCID ID 0000-0003-3113-7782 *e-mail*: ki4412674@gmail.com

Oleksandr T. Azimov³, D. S. (Geology), Leading Researcher
ORCID ID 0000-0002-5210-3920 *e-mail*: azimov@casre.kiev.ua

Sergii P. Karmazinenko⁴, PhD, Senior Researcher
ORCID ID 0000-0001-8268-7851 *e-mail*: karmazinenko78@gmail.com

Kateryna S. Zlobina², PhD, Junior Researcher
ORCID ID 0000-0001-8823-4642 *e-mail*: ecaterinka@ukr.net

¹ Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

² M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU, Kyiv, Ukraine

³ Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of IGS of NASU, Kyiv, Ukraine

⁴ Institute of Geography of NASU, Kyiv, Ukraine

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS FOR THE SOIL DEPOSITS WITHIN THE MUNICIPAL WASTE DISPOSAL AREAS BY THE ENVIRONMENT STUDY RESULTS

***Abstract.** As a result of the analytical research and result of the previous stages of study it was found the significant contamination of the soil layer by the heavy metals (HMs) within the Landfill area No 5 for the municipal solid waste (MSW) disposal and the surrounding areas. It was revealed also the negative its effect on the contents of these pollutants in the soil of adjacent buffer zone, which is under the influence of north-eastern, northern, and north-western parts of the Landfill. This is a result of 34 years of the operation of the MSW disposal facility, when there were operating troubles. That caused by the breach of operating procedures of the covering the garbage storages by the isolating layers of dirt, intermittent work of the leachate treatment system, capacity exceeded, etc. Therefore, the soils within the Landfill's boundaries and also in the buffer its zone have been contaminated by the different toxic substances, in particular by the HMs. So, soil deposits of the Landfill have got the maximum exceed of background contents for cooper, lead, nickel, and tin by from several to ten times, at the same time, beyond its contour – by 2–3 times.*

The negative changes of physical-chemical properties of soils of the humus horizon is revealed by the comparison with the proper indications for the soil samples collected in the sites adjacent to the Landfill and directly on its territory. The buffer coefficient of soil of this horizon (C_b) is twice as lower for the technogenic polluted soils within the MSW disposal facility than for the background sites for their is equal to the value of $C_b=55$. The contents of mobile forms for the HMs in the soil formations of the Landfill No 5 in the comparison with the background values increase 2 times for cooper and zinc, as well 8 times for lead. It is the content of the mobile forms that affects the migration of the HMs in the trophic chain "soil – solution – biota".

Keywords: Landfill; solid waste; heavy metals; soil; geochemical analysis

О.М. Трофимчук¹, І.В. Курасва², О.Т. Азімов³, С.П. Кармазиненко⁴, К.С. Злобіна²

¹ Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

² Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, м. Київ, Україна

³ Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, м. Київ, Україна

⁴ Інститут географії НАН України, м. Київ, Україна

ГЕОХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ҐРУНТОВИХ УТВОРЕНЬ РАЙОНІВ ЗАХОРОНЕННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

***Анотація.** Вкладено результати аналітичного узагальнення матеріалів новітніх і попередніх етапів досліджень геохімічних особливостей проб ґрунтових відкладів по території Київського полігона № 5 захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) та у прилеглих до неї районах. Встановлено істотне забруднення ґрунтового шару важкими металами (ВМ), передусім у межах полігона. Виявлено також негативний його вплив на вміст цих політантів у ґрунтах буферної, прилеглої до полігона зони, що, імовірно, зазнає впливу північно-східної, північної та північно-західної його частин. Це стало наслідком 34-річного функціонування об'єкта захоронення ТВП, протягом якого мали місце порушення в його експлуатації. Вони були зумовлені недотриманням технології пересипки складованих відходів ізоляційним шаром землі, нерегулярною роботою установки з переробки фільтрату, перевищенням потужностей тощо. Отож ґрунти в межах полігона і навіть у буферній до нього зоні зазнали забруднення різноманітними токсичними речовинами, зокрема, ВМ. Зокрема, для ґрунтових утворень полігона визначено максимальне перевищення фонового вмісту міді, свинцю, цинку, нікелю та олова у десятки разів, у той же час поза його контуром – у 2–3 рази. Зафіксовані негативні зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів гумусового горизонту при порівнянні відповідних показників за зразками, відібраними у прилеглих до полігона районах і безпосередньо на його території. Коефіцієнт буферності ґрунтів цього горизонту (K_b) майже вдвічі менший на техногенно забруднених землях об'єкта захоронення ТВП, ніж на відносно фонових ділянках, для яких одержано значення $K_b=55$. Вміст рухомих форм ВМ у ґрунтових утвореннях полігона № 5 порівняно з фоновими значеннями зростає у 2 рази для міді та цинку, а для свинцю – у 8 разів. Саме вміст рухомих форм здійснює вплив на міграцію ВМ у трофічному ланцюгу «ґрунт – розчин – біота».*

***Ключові слова:** полігон; побутові відходи; важкі метали; ґрунт; геохімічний аналіз*

Формування цілей і завдань статті

В Україні (без урахування даних Автономної республіки Крим та м. Севастополь) за 2019 р. утворено майже 53 млн м³ побутових відходів, або понад 10 млн т [1]. Переважна частка з них захоронювалася на 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 9 тис. га. При цьому кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 258 одиниць (4,2%), а 905 од. (15%) не відповідають санітарно-гігієнічним нормам та нормам екологічної безпеки. Більшість полігонів не мають інженерно-геологічних обґрунтувань.

Зазначене призводить до того, що у межах як власне полігонів, так і у прилеглих до них районах значних техногенних змін зазнають ґрунтові відклади, поверхневі води, ґрунтові води неглибокого залягання, а також часто докорінно змінюються рослинні угруповання [2–24 та ін.].

Фізико-хімічні процеси забруднення життєво важливих для людини об'єктів довкілля на таких територіях вивчені не повною мірою. При цьому ґрунтові утворення є найбільш важливим біокосним депонуючим середовищем [25]. Важливу роль у фізіологічних, біо- та геохімічних процесах, що протікають у ґрунтах, відіграють важкі метали (ВМ). Вони визначають оптимальні умови існування живих організмів у ґрунті та його біологічну продуктивність.

Таким чином, у цій статті на підставі результатів опрацювання відібраних проб розглянемо узагальнені дані щодо геохімічних характеристик ґрунтових відкладів, які є *об'єктом досліджень*, у районі одного з найбільших в Україні полігонів захоронення твердих побутових відходів (ТПВ). *Предметом досліджень* при цьому є особливості геохімії ВМ у ґрунтових утвореннях.

Фактичний матеріал для аналізу отриманий нами як у червні 2019 р. [18, 19, 24], так і протягом робіт попереднього року [11–17, 20, 23, 24 та ін.] по декількох площадках спостережень безпосередньо поблизу карти складування № 1 *Київського полігона № 5* захоронення ТПВ та у прилеглих до неї з північного сходу та північного заходу районах (рис. 1). Вірогідно, ландшафтні компоненти цих розташованих поза межами полігона буферних стосовно нього районів (або зон) зазнають довготривалого впливу існування і діяльності полігона, ТПВ на якому захоронюються починаючи ще з 1986 року.

Більшість площадок спостережень 2019 року просторово збігається з площадками відбору зразків ґрунтового покриву попередніх років (у цьому є елемент геомоніторингу) або ж своїм розташуванням робить мережу опробування більш детальною. Проте, в узагальненні матеріалу залучені додаткові дані за пробами, відібраними у буферній зоні на північний схід від контуру полігона та на території с. Підгірці, що розляглося на схід від нього.

При цьому головне *завдання досліджень* передовсім полягає у визначенні максимальних значень різних геохімічних параметрів ґрунту поміж усіх узагальнених даних по території черги «А» полігона та по буферній до неї зоні. Наступним кроком було аналітичне порівняння їх з такими ж характеристиками фонових ґрунтів, що притаманні регіону, в межах якого розміщений полігон № 5. Як матеріал для порівняння використано викладені у праці [26] результати оцінки особливостей геохімії ґрунтових горизонтів нашої ландшафтно-кліматичної підзони – лісостепу правобережного високого (переважно) і низького (частково). Першим кроком на цьому шляху було встановлення типів ґрунтів та їхніх основних характеристик у розрізах

відслонень (розчистках) під час виконання польових робіт та за виготовленими на підставі відібраних проб спеціальних шліфів.

Характеристика об'єкта досліджень

Полігон № 5 розташований приблизно в 11 км на південь від житлово-промислової забудови південної частини м. Києва. ТПВ складаються в межах колишніх, заповнених ними двох лівих приток (ярів субмеридіонального спрямування) Ходосівської балки урочища Марусин Яр (рис. 1, див. рис. 1 у [11, 15, 17, 19, 23]). Балка простяглася між с. Підгірці (на відстані 750 м) та с. Креничі (на відстані 500 м).

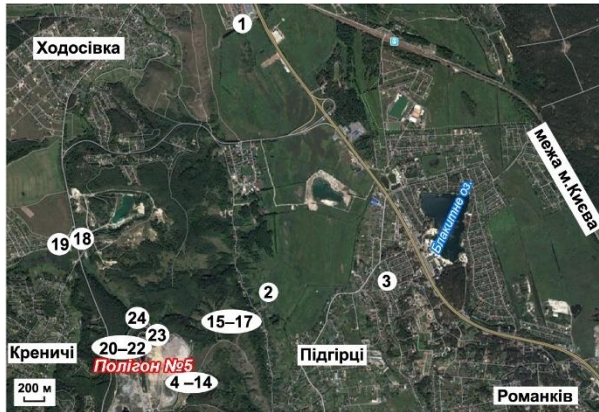


Рис. 1 – Картосхема розташування площадок спостережень (1–24) у північному секторі впливу полігона № 5. Як підкладку використано космічний знімок, отриманий з Інтернет-джерела [27]

Стосовно технічних характеристик полігона № 5 зазначимо, що загальна його площа становить 63,7 га. Він складається з двох майданчиків (або черг, карт) складування: карти № 1 (або «А») площею 18 га та карти № 2 (або «Б»), яка має площу 17 га (рис. 2). Полігон щодня приймає від 4000 до 5000 м³ ТПВ.

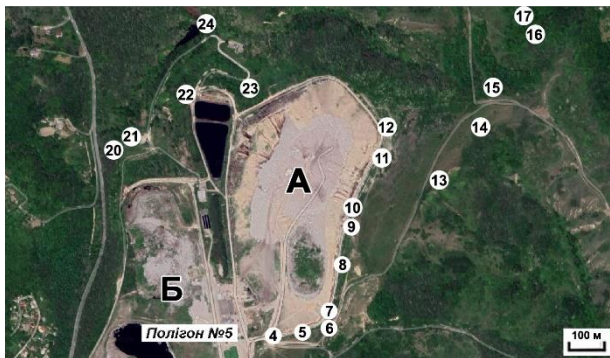


Рис. 2 – Картосхема розташування площадок спостережень у межах північно-західної частини полігона № 5 (20–24) та у буферній стосовно карти «А» зоні (4–17). А, Б – карти полігона. Як підкладку використано космічний знімок, отриманий з Інтернет-джерела [27]

З 2006 р. йде мова про повне закриття полігона № 5 через порушення в його експлуатації та критичний екологічний стан, насамперед пов'язаний з витіканням фільтрату в землю та забруднення ним довкілля, передусім підземних вод. Фільтрат утворюється із стічних вод, що виникають в результаті інфільтрації атмосферних опадів у “тіло” власне звалища сміття, а потім концентруються в його основі. При цьому проходячи через товщу відходів, фільтрат збагачується різноманітними токсичними речовинами, що входять до їх складу, або ж насичується продуктами їх розкладання. Таким чином, утворені водні розчини є хімічно й біологічно активними. А поруч із полігоном протікає річка Віта, яка впадає у Дніпро.

Втім, експлуатація полігона № 5 продовжується дотепер. Послуги з захоронення ТПВ на ньому надає підприємство «Приватне акціонерне товариство (ПРАТ) «Київспецтранс», що утилізує понад половину цього типу відходів міста Києва. Тобто на п'ятий полігон припадає “левова” частка сміття, що утворюється внаслідок життєдіяльності населення міста.

Матеріали досліджень

З метою оцінки впливу фільтрату, що надходить до геологічного середовища з полігона № 5, на стан ґрунтів, як у межах об'єкта захоронення ТПВ, так і прилеглої до нього території, насамперед були проведені польові дослідження. Вони включали такі види робіт:

- візуальний аналіз гідролого-геоморфологічних особливостей території досліджень;
- відбір зразків для подальшого геохімічного їх аналізу:
 - ґрунту з інтервалу глибин 0–5 і 5–10 см
 - та відкладів з ґрунтових профілів глибиною до 1,0 м у розрізах відслонень (розчистках).

Спостереження з відбором зазначених проб у натурних умовах виконані у 2018 і 2019 роках на 24 основних **площадках**, що приурочені до відмінних ландшафтно-геологічних умов (рис. 1). При цьому у межах кожної з площадок спостережень відібрано по кільканадцять зразків ґрунтових утворень. Це є статистичною основою, щоб вважати результати аналізу по площадках адекватними. Географічна прив'язка площадок спостережень здійснювалася з застосуванням приладу GPS MAP 60 CSX з точністю прив'язки 5 м у системі координат UTM/WGS 84.

Природні умови площадок **у межах території полігона № 5** (це *площадки № 20–24*, рис. 2) описані нами в попередніх публікаціях [17, 23], в яких вони відповідають площадкам № 1–5 (див. рис. 2, 3 у [17]).

Отож, нижче зупинимося на характеристиці місцевості площадок спостережень **поза контуром полігона № 5**, але або безпосередньо біля нього, або ж у зоні імовірного його впливу. Так, якщо врахувати ландшафтно-геоморфологічні умови території, передовсім гіпсометрію рельєфу сучасної земної поверхні (абсолютні відмітки, напрямом загального ухилу поверхні), що позначається на гідрологічних і гідрологічних її умовах, то можна передбачити розташування *площадок № 1–3* в межах фонові стосовно полігона ділянки. Вони розміщені на прилеглій до річки Віта низовинній, порізаний меліоративними каналами, порослій лучною рослинністю рівнині, що розляглася східніше від вододільного пасма (рис. 3).

Площадки спостережень № 4–14 локалізовані вже у межах вододільної поверхні безпосередньо уздовж південного, східного і північно-східного контуру карти «А» полігона № 5, переважно у 20–100 м від нього (рис. 2–6). Тобто вони вочевидь приурочені до буферної щодо полігона зони. При цьому площадки спостережень № 7 і 12 опробувалися і у 2018, і у 2019 році (зокрема у статті [12] вони відповідають площадкам № 5 і 7).



Рис. 3 – Фотографічне зображення порослої лучною рослинністю рівнини неподалік від підніжжя вододільного пасма (район площадки спостережень № 2)



Рис. 4 – Фотографічне зображення району площадки спостережень № 10, на якому темно-коричневим кольором відмічаються місця височування фільтрату з тіла черги «А» полігона № 5

На площадках спостережень № 6, 13 і 14 зразки також отримано з ґрунтових профілів глибиною до 1,0 м з розрізів розчисток на місці наявних тут відслонень природного або техногенного походження.

Площадки спостережень № 15 і 16 закладено на схилі від плато до долини невеликої річки з непостійним водотоком, а площадку № 17 – власне у вологій задернованій долині, безпосередньо біля підніжжя схилу (рис. 2).

Площадки спостережень № 18 і 19 розташовані вже у північно-західній зоні впливу полігона, фактично вже в межах фонової ділянки (рис. 1, 7).

Методи й теорія

Для визначення особливостей латерального розподілу ВМ у ґрунтах території досліджень *проби відібрано* з поверхневих ґрунтових горизонтів (0–5 та 5–10 см) методом конверта відповідно до вимог ГОСТ 17.4.4.02–84 [28]. Для вивчення проникнення забруднення на глибину в натурних умовах досліджено ґрунтові профілі глибиною до 1,0 м. Опробування відповідних розчисток проводилось по горизонтах з інтервалом відбору 0,1 м.

Для визначення концентрацій хімічних елементів у зразках ґрунтів використано атомно-емісійний спектральний *аналіз*. Застосовувався також високочутливий *метод* ICP-MS (мас-спектрометрія з індукційно зв'язаною плазмою) для визначення форм знаходження ВМ у ґрунтах. Фізико-хімічні властивості ґрунтових відкладів визначалися за методикою Є.В. Арінушкіної [29]. Мінералогічний склад фракцій визначався за допомогою рентгенофазового аналізу на дифрактометрі Дрон-2 (Сик_α-випромінювання).

У разі потрапляння хімічних речовин у ґрунти у надлишкових кількостях найбільшу небезпеку являє собою збільшення вмісту саме рухомих форм. Останні можуть переходити у суміжні з ґрунтами середовища: поверхневі і підземні води, рослинні угруповання. Тому такий ґрунт являє собою реальну загрозу природному функціонуванню біогеоценозу.



Рис. 5 – Фотографічне зображення бетонного захисного жолобу, що поблизу площадки спостережень № 12 значною мірою засмічений різноманітними побутовими відходами, а станом на 05.06.2019 р. був заповнений водою чорно-коричневого кольору



Рис. 6 – Фотографічне зображення відслонення на краю вододільного плато (район площадки спостережень № 14)



Рис. 7 – Фотографічне зображення площадки спостережень № 19, що на північному березі штучного ставка поблизу автодороги с. Креничі – с. Ходосівка

За високими значеннями рухомості мікроелементів констатують хімічне забруднення ґрунтів. Існують різні способи класифікації ґрунтів за їх властивістю інактивувати ВМ. Як критерій для кількісної еколого-геохімічної оцінки стійкості системи «ґрунт – розчин» та її впливу на утворення мобільних форм ВМ використовувався, відповідно до розробленої групою авторів методики [30], коефіцієнт буферності (K_6) ґрунтів гумусового горизонту. Цей показник пропорційний сорбційній ємності ґрунтово-поглинаючого комплексу ($С_6$) і обернено пропорційний зміні ΔpH у системі «ґрунт – розчин»:

$$K_6 = C_6 / \Delta pH. \quad (1)$$

Вивчення *форм знаходження* ВМ у ґрунтах проведено методом послідовного розчинення, що розроблений В.О. Кузнецовим [31] і доповнений та модернізований А.І. Самчуком [30]. Метод базується на одночасному виділенні з ґрунту декількох елементів за допомогою “селективних” екстрагентів. Виділено такі форми знаходження ВМ у ґрунтах:

1) *Водорозчинна форма*. Форма знаходження, що включає в себе ВМ, які переходять у водну витяжку.

2) *Обмінна*. Обмінними називаються іони, що утримуються ґрунтом за рахунок електростатичних сил і які можуть бути заміщені еквівалентною кількістю іонів із нейтральних розчинів нейтральних солей. Вона представлена неміцно адсорбованими формами ВМ, зв'язаними з гідроксидами заліза, марганцю, кремнію, органічною речовиною, глинистими мінералами.

3) *Зв'язана з карбонатами форма* об'єднує сорбовані карбонатами ВМ та ізоморфні домішки.

4) *Сорбована на аморфних гідроксидах заліза, марганцю*. Представлена іонами ВМ, що поглинуті гідроксидами заліза, марганцю. Тобто сукупністю форм металів, що утворюють поверхневі комплекси, які переходять в розчин при руйнуванні гідроксидів заліза і марганцю.

5) *Зв'язана з органічною речовиною*. Представлена міцними металоорганічними комплексами (комплексні сполуки іонів ВМ з гуміновими кислотами).

6) *Важкорозчинна форма* об'єднує метали, що входять у кристалічну решітку породотвірних і акцесорних мінералів.

Отримані за результатами лабораторних досліджень дані стосовно геохімічних особливостей зразків ґрунту району робіт аналітично порівнювалися з аналогічними параметрами фонових ґрунтів, які характерні для території, що розглядається, загалом (лісостепу правобережного високого). При цьому за основу взято дані, наведені у праці [26].

Виклад основного матеріалу досліджень й обґрунтування отриманих наукових результатів

З метою оцінки екологічного стану **сучасних ґрунтів** під час спільних польових досліджень на території полігона № 5 та у районі його впливу нами було досліджено три їхні розрізи у трьох різних розчистках. Отож нижче насамперед зупинимось на характеристиці *типів* ґрунтів, яку вдалося визначити. Детальний аналіз морфологічних (забарвлення, структура, гранулометричний склад, вологість, складення, новоутворення, включення, перехід між горизонтами, межа) особливостей сучасних ґрунтів у розрізах дозволили встановити типи цих відкладів.

Ґрунти у першу чергу відзначаються темно-сірим забарвленням їх профілю, грудкуватою структурою, легким суглинковим гранулометричним складом, з включеннями черворийн і кротовин, новоутвореннями карбонатів у вигляді міцелію, а також поступовими переходами між генетичними горизонтами (Н, Нк, РНк, Рhk, Рк). За цими ознаками ґрунти є близькими до *чорноземів типових*, які сформувалися на лесових відкладах бузького часу. І саме ці лесові відклади використовуються для засипання і подальшого захоронення побутових відходів на території полігона № 5.

Для більш детального уточнення генезису ґрунтів і оцінки ступеня їх забруднення були також відібрані зразки на мікроморфологічний аналіз. Подальші результати мікроморфологічного аналізу сучасних чорноземних ґрунтів дозволять не тільки оцінити ступінь забрудненості (виявлення часточок під мікроскопом), але й уточнити їх генезис (для правильного застосування заходів з вилучення поліютантів і поліпшення екологічного стану як власне відкладів, так і навколишнього середовища загалом).

Дослідження *гранулометричного складу* ґрунтів зони аерації району полігона № 5 показали, що вміст піщаної фракції в них змінюється в межах 1–6%, алевритової – 3–10%, а вміст глинистої фракції становить 84–90%. Отже, глиниста фракція є переважаючою для ґрунтових відкладів досліджуваної території та є основним сорбентом для поліютантів. Основними глинистими мінералами цієї фракції є монтморилоніт, гідрослюда (типу іліту), каолініт.

Встановлено такий *хімічний склад* досліджуваних зразків ґрунтів: SiO_2 – від 49 до 82%, Al_2O_3 – 4–8%. У пробах ґрунтів, відібраних під час досліджень безпосередньо *на території полігона*, максимальне перевищення фонового, згідно з [26], вмісту мікроелементів зафіксовано для таких ВМ: міді, свинцю, цинку, нікелю та олова. Зокрема, вміст цинку у ґрунтах власне полігона № 5 досягає 500 г/т, при фоновому вмісті для Дніпровської лісостепової геохімічної провінції 48 г/т. Максимальна концентрація міді досягає 600 г/т при фоновому вмісті 20 г/т, тобто реєструється тридцятикратне перевищення фонових показників (рис. 8).

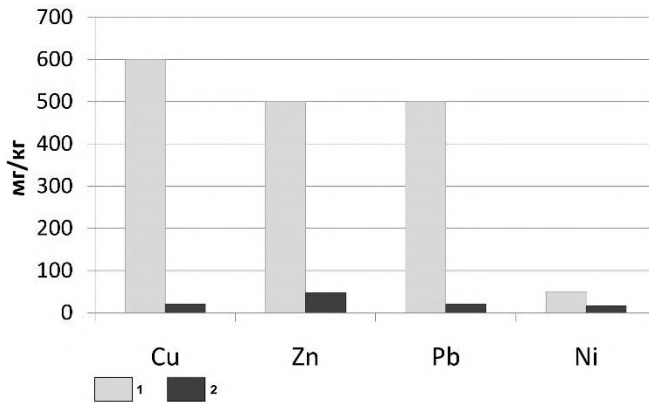


Рис. 8 – Порівняння максимального перевищення вмісту важких металів у техногенно забруднених ґрунтах району карти «А» полігона № 5 фоновому у ґрунтах території досліджень. 1 – максимальний вміст ВМ у досліджених ґрунтах карти «А» полігона, 2 – вміст ВМ у фонових [26] ґрунтах

Найбільший вміст свинцю у ґрунтах у межах полігона має значення 500 г/т, що у 25 разів більше за фоновий показник (20 г/т). Тут же зафіксовано високу концентрацію нікелю – 50 г/т при його фоновому вмісті 16 г/т. Відмічено також високий вміст олова, що у понад 20 разів перевищує фонове його значення.

У *буферній зоні* полігона № 5, тобто в районі поза його межами, але такому, що зазнає його впливу, також відмічаються концентрації мікроелементів у

грунтах, які у 2–3 рази перевищують фонові значення. Це характерно для міді, свинцю, цинку, нікелю, хрому, олова.

На підставі проведених досліджень одержано результати **фізико-хімічних властивостей** ґрунтів гумусового горизонту як на території полігона, так і за його контуром. Зокрема, *за межами полігона* визначено такі показники ґрунтів: $S_{\text{орг.}}$ – 6,2%, рН – 6,5; вміст обмінних катіонів, мг-екв./100 г: H^+ – 8,2, Ca^{2+} – 39,0, Mg^{2+} – 12,8, K^+ – 0,7, Na^+ – 0,65; сума обмінних катіонів – 61,35. Натомість, фізико-хімічні властивості ґрунтів, відібраних *у межах полігона*, значно відрізняються від наведених нижчими значеннями, що вказує на їхні зміни: $S_{\text{орг.}}$ – 3,6%, рН – 6,3; вміст обмінних катіонів, мг-екв./100 г: H^+ – 3,2, Ca^{2+} – 12,0, Mg^{2+} – 4,9, K^+ – 0,3, Na^+ – 0,4; сума обмінних катіонів – 20,8. Не викликає сумнівів, що зазначені зміни відбулися під дією різноманітних токсикантів, пов'язаних з діяльністю об'єкта захоронення ТПВ.

Отримані дані дозволили розрахувати за формулою (1) **коефіцієнт буферності** ґрунтів гумусового горизонту. Так, для ґрунтів *поза контуром полігона № 5*, що імовірно зазнають впливу північно-східної, північної та північно-західної його частин, одержано значення $K_6=55$. Для техногенно забруднених ґрунтових утворень *карти «А» полігона* K_6 зменшується майже удвічі.

Дослідженнями виконано еколого-геохімічне оцінювання впливу полігона захоронення ТПВ № 5 на стан ґрунтів у його межах. Для цього встановлено **форми знаходження ВМ** у ґрунтовому покриві *полігона*, які найбільше перевищують відповідні фонові значення: свинцю, цинку, міді. У результаті проведених аналітичних робіт визначено, що вміст рухомих форм (водорозчинної та іонообмінної) у ґрунтових утвореннях, які найбільше впливають на екологічну оцінку території, зростає: для міді та цинку – у 2 рази, для свинцю – у 8 разів. Саме вміст рухомих форм здійснює вплив на міграцію ВМ у трофічному ланцюгу «ґрунт – розчин – біота».

Отже, порівняння геохімічних особливостей зразків техногенно забруднених ґрунтів полігона і прилеглих до нього районів з пробами фонових ґрунтів дозволяє констатувати таке. Від часу введення в дію у 1986 році полігона № 5 захоронення ТПВ через порушення в його експлуатації, що зумовлені недотриманням технології пересипки складованих відходів ізоляційним шаром землі, нерегулярною роботою установки з переробки фільтрату, перевищенням потужностей тощо, ґрунти в його межах і навіть у буферній до нього зоні зазнали забруднення різноманітними токсичними речовинами, зокрема ВМ.

Справедливості заради потрібно зазначити, що в останні роки зусиллями підприємства Приватне акціонерне товариство «Київспецтранс», що надає послуги з захоронення ТПВ на полігоні, інтенсивно провадяться роботи щодо підвищення його безпеки та підготовки до рекультиватії. Вони полягають у ліквідації аварійних схилів карти «А» полігона, розширенні потужностей переробки фільтрату, укріпленні та оновленні захисних дамб (особливо дамби західніше карти «Б»). Як наслідок виніс забруднювачів з території полігона за його межі й негативна їх дія на компоненти довкілля поступово зменшуються. Це зафіксовано нашими дослідженнями [18, 19, 22].

Висновки й перспективи подальших розвідок у цьому напрямі

У результаті проведених аналітичних робіт та підсумків попередніх етапів досліджень встановлено істотне забруднення ґрунтового шару важкими металами, передусім у межах полігона № 5. Виявлено також негативний його вплив на вміст цих поліютантів у ґрунтах буферної, прилеглої до нього зони. Це стало наслідком майже 34-річного функціонування об'єкта захоронення ТВП, протягом якого мали місце порушення в його експлуатації.

Так, для ґрунтових відкладів полігона визначено максимальне перевищення фонового вмісту міді, свинцю, цинку, нікелю та олова від декількох до десятків разів, у той же час поза його контуром – у 2–3 рази. Зафіксовані негативні зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів гумусового горизонту при порівнянні відповідних показників за зразками, відібраними у прилеглих до полігона районах і безпосередньо на його території. Коефіцієнт буферності ґрунтів цього горизонту майже удвічі менший на техногенно забруднених землях об'єкта захоронення ТВП, ніж на відносно фонових ділянках.

Вміст рухомих форм ВМ у ґрунтових утвореннях полігона № 5 порівняно з фоновими значення зростає у 2 рази для міді та цинку, а для свинцю – у 8 разів.

Для *подальшого з'ясування* механізму міграції забруднювачів у компонентах довкілля території досліджень (ґрунти – природні води – рослинність) необхідно здійснити еколого-геохімічне їх опробування по регулярній мережі наземних площадок. Потреба також є у спрямуванні зусиль фахівців у плані оцінки сезонного впливу полігона на стан навколишнього середовища загалом.

Подяка

Автори висловлюють вдячність керівництву ПрАТ «Київспецтранс» за дозвіл на в'їзд на територію полігона № 5 протягом 2019 р. і фотографування відповідної місцевості протягом 2019 р., а також за дозвіл щодо відбору проб ґрунту, які були використані для лабораторно-камерального аналізу на вміст важких металів і для оцінки можливого впливу об'єкта захоронення ТПВ на довкілля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2019 рік. – К.: Мінрегіон України, 2020. – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vi/>.
2. Bauer M.J. Chemodynamics, transport behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachates / M.J. Bauer, R. Herrmann, A. Martin, H. Zellmann // Wat. Sci. Tech. – 1998. – Vol. 38, No 2. – P. 185–192. – <https://search.proquest.com/openview/ff40061ef856211c1411206e7c834ffa/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2044520>.
3. Aluko O.O. Characterization of leachates from a municipal solid waste landfill site in Ibadan, Nigeria / O.O. Aluko, M.K.C. Sridhar, P.A. Oluwande // J. Environ. Health Res. – 2003. – Vol. 2, iss. 1. – P. 32–37. – https://www.researchgate.net/profile/Olufemi_Aluko2/publication/274243919_Characterization_of_leachates_from_a_municipal_solid_waste_landfill_site_in_Ibadan_Nigeria/links/55195a1c0cf2d241f35638bf/Characterization-of-leachates-from-a-municipal-solid-waste-landfill-site-in-Ibadan-Nigeria.pdf.

4. Abu-Zeid N. Geochemical characterisation and geophysical mapping of Landfill leachates: the Marozzo canal case study (NE Italy) / N. Abu-Zeid, G. Bianchini, G. Santarato, C. Vaccaro // *Environ. Geol.* – 2004. – Vol. 45. – P. 439–447. – doi: <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0895-x>.
5. Słomczyńska B. Physico-chemical and toxicological characteristics of leachates from MSW landfills / B. Słomczyńska, T. Słomczyński // *Pol. J. Environ. Stud.* – 2004. – Vol. 13, No 6. – P. 627–637. – <https://pdfs.semanticscholar.org/f6cc/20d54e7074ad55439d5b468305c227fde101.pdf>.
6. Mor S. Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site / S. Mor, K. Ravindra, R.P. Dahiya, A. Chandra // *Environ. Monit. Assess.* – 2006. – Vol. 118. P. 435–456. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-1505-7>.
7. Øygard J.K. Uranium in municipal solid waste landfill leachate / J.K. Øygard , E. Gjengedal // *Int. J. Environ. Res.* – 2009. – Vol. 3, iss. 1. – P. 61–68. – <http://www.bioline.org.br/request?er09007>.
8. Шевченко М. Екологічна оцінка впливу полігонів твердих побутових відходів Кіровоградської області на стан навколишнього середовища / М. Шевченко, О.В. Медведєва // *Наук. зап. – Кіровоград: КДПУ ім. В. Винниченка*, 2010. – Вип. 10, ч. II. – С. 313–315. – Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/5425/1/68.pdf>.
9. Adeolu O.A. Assessment of groundwater contamination by leachate near a municipal solid waste landfill / O.A. Adeolu, V.O. Ada, A.A. Gbenga, A.O. Adebayo // *Afr. J. Environ. Sci. Tech.* – 2011. – Vol. 5, iss. 11. – P. 933–940. – DOI: 10.5897/AJEST11.27.
10. Bhalla B. Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill / B. Bhalla, M.S. Saini, M.K. Jha // *Int. J. Res. Engineering Tech.* – 2013. – Vol. 02, iss. 08. – P. 223–232. – <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.681.5957&rep=rep1&type=pdf>.
11. Azimov O.T. Reconnaissance integrated geocological study of the disposal region for municipal solid waste with the aim of environmental assessment / O.T. Azimov, V.G. Bakhmutov, Yu.Yu. Voytyuk, Ye.M. Dorofey, S.P. Karmazynenko, I.V. Kuraeva // 12th Int. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (13-16 November 2018, Kyiv, Ukraine): Extended Abstracts. – 2018. – 5 p. – DOI: 10.3997/2214-4609.201803142.
12. Азімов О.Т. Моніторинг територій полігонів твердих побутових відходів з використанням дистанційних технологій / О.Т. Азімов, О.В. Томченко, С.П. Кармазиненко, І.В. Кураєва, Ю.Ю. Войтюк // *Формування програм щодо поводження з відходами для об'єднаних територіальних громад: проблемні питання та кращі практики: Зб. матеріалів Нац. форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (Київ, 22-23 листоп. 2018 р.)*. – К.: Центр еколог. освіти та інформації, 2018. – С. 84–87.
13. Азімов О.Т. Еколого-геохімічна оцінка об'єктів довкілля територій поховання твердих побутових відходів / О.Т. Азімов, І.В. Кураєва, Ю.Ю. Войтюк, А.І. Самчук, С.П. Кармазиненко, В.Г. Бахмутов // *Пошукова та екологічна геохімія*. – 2018. – № 1 (19). – С. 22–26.
14. Азімов А.Т. Анализ результатов комплексных геохимических исследований образцов компонентов ландшафта из зоны влияния мест захоронения твердых бытовых отходов / А.Т. Азімов, С.П. Кармазиненко, И.В. Кураєва, Ю.Ю. Войтюк // *Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. «Отходы, причины их образования и перспективы использования» (г. Краснодар, 26-27 марта 2019 г.)*. Сост. Л.С. Новополицева, под ред. И.С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – С. 198–200. – Режим доступу: <http://www.ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2019.pdf>.
15. Azimov O.T. Estimation of the heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the solid domestic waste landfills / O.T. Azimov, I.V. Kuraeva, O.M. Trofymchuk, S.P. Karmazynenko, Ye.M. Dorofey, Yu.Yu. Voytyuk // 18th EAGE Int.

Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine): Conference Papers. – 2019. – 7 p. – DOI: 10.3997/2214-4609.201902129.

16. Азімов О.Т. Раціональний комплекс геохімічних методів при дослідженні довкілля районів поховання твердих побутових відходів / О.Т. Азімов, І.В. Кураєва, С.П. Кармазinenко, К.С. Злобіна // Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво: Матеріали VI Міжнар. геол. форуму (17-22 черв. 2019 р., м. Одеса, Україна). – К.: УкрДГРІ, 2019. – С. 13–16. – Режим доступу: http://ukrdgri.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/material_geoforum_2019_1.pdf.

17. Азімов О.Т. Оцінка вмісту важких металів у ґрунтах та інших компонентах ландшафту в районах захоронення твердих побутових відходів / О.Т. Азімов, О.М. Трофимчук, І.В. Кураєва, С.П. Кармазinenко // Екологічна безпека та природокористування. – 2019. – Вип. 2 (30). – С. 5–17. – DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.2.5-17>.

18. Трофимчук О.М. Особливості моніторингу гідросферних процесів у межах техноосистем територій захоронення твердих побутових відходів з застосуванням дистанційних технологій / О.М. Трофимчук, О.Т. Азімов, І.В. Кураєва, К.С. Злобіна, С.П. Кармазinenко // Колективна монограф. за матеріалами XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: актуальні питання» (Київ, 01-02 жовт. 2019 р.). За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Вид-во «Юстон», 2019. – С. 72–76. – Режим доступу: https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/10/1_Книга_сайт.pdf.

19. Azimov O.T. Monitoring and assessment of impact of municipal solid waste landfills on the surface water quality in the adjacent ponds / O.T. Azimov, Ye.M. Dorofey, O.M. Trofymchuk, I.V. Kuraeva, K.S. Zlobina, S.P. Karmazynenko // 13th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (12-15 November 2019, Kyiv, Ukraine): Conference Papers. – 2019. – 6 p. – DOI: 10.3997/2214-4609.201903228.

20. Азімов О.Т. Оцінка розподілу важких металів у ґрунтах районів захоронення твердих побутових відходів / О.Т. Азімов, І.В. Кураєва, В.Г. Бахмутов, Ю.Ю. Войтюк, С.П. Кармазinenко // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Геологія. – 2019. – Вип. 4 (87). – С. 76–80. – Режим доступу: [http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2019/N4\(87\)/Azimov.pdf](http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2019/N4(87)/Azimov.pdf).

21. Kaliaskarova Z.K. Soil pollution with heavy metals on the land of the Karasai landfill of municipal solid waste in Almaty city / Z.K. Kaliaskarova, Zh.N. Aliyeva, A.S. Ikanova, E.S.M. Negim // News Acad. Sciences Republic Kazakhstan: Geol. Tech. Sci. – 2019. – Vol. 6, No 438. – P. 256–267. – <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.177>.

22. Азімов А.Т. Мониторинг качества поверхностных вод районов захоронения твердых бытовых отходов / А.Т. Азімов, Е.С. Злобіна, С.П. Кармазinenко, І.В. Кураєва // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. «Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития» (г. Краснодар, 24-26 марта 2020 г.) / Сост. Л.С. Новопольцева; под ред. И.С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2020. – С. 340–343. – Режим доступу: <http://ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2020.pdf>.

23. Азімов О.Т. Забруднення ґрунтів та інших об'єктів довкілля важкими металами в районах полігонів захоронення твердих побутових відходів / О.Т. Азімов, І.В. Кураєва, О.М. Трофимчук, С.П. Кармазinenко, К.С. Злобіна // Геоінформатика. – 2020. – № 1 (73). – С. 82–98. – Режим доступу: <http://www.geology.com.ua/>.

24. Azimov O.T. Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills / O.T. Azimov, O.M. Trofymchuk, I.V. Kuraeva, K.S. Zlobina, S.P. Karmazinenko, Ye.M. Dorofey // 19th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine): Conference Papers. – 2020. – 7 p. – Режим доступу: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2020/05/17388.pdf>.

25. Кармазиненко С.П. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти) / С.П. Кармазиненко, І.В. Кураєва, А.І. Самчук, Ю.Ю. Войтюк, В.Й. Манічев. – К.: Інтерсервіс, 2014. 168 с. – Режим доступу: <https://igu.org.ua/sites/default/files/pdf-text/heavy-metals-m.pdf>.
26. Люта Н.Г. Про використання геохімічних критеріїв (фонів та сумарного показника забруднення) для оцінки геохімічного стану ландшафтів / Н.Г. Люта // 36. наук. пр. УкрДГРІ. – 2004. – № 2. – С. 162–169.
27. <https://www.google.com/maps>.
28. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: ГОСТ 17.4.4.02–84. [Действующий от 1986–01–01]. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 8 с.
29. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина / [2-е изд., перераб. и доп.]. – Москва: Изд-во МУ, 1970. – 488 с.
30. Самчук А.И. Физико-химические условия образования мобильных форм токсичных металлов в почвах / А.И. Самчук, Г.Н. Бондаренко, В.В. Долин, Ю.Я. Сущик, И.Ф. Шраменко, Б.Ф. Мицкевич, О.С. Егоров // Минерал. журн. – 1998. – Т. 20, № 2. – С. 48–59.
31. Кузнецов В.А. Метод постадийных вытяжек при геохимических исследованиях / В.А. Кузнецов, Г.А. Шимко. – Минск: Наука и техника, 1990. – 88 с.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2020 і прийнята до друку після рецензування 24.07.2020

REFERENCES

1. State of the municipal waste treatment sphere in Ukraine for 2019 (2020) Kyiv: Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vi/>. (in Ukrainian).
2. Bauer, M.J., Herrmann, R., Martin, A., & Zellmann, H. (1998) Chemodynamics, transport behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachates. *Wat. Sci. Tech.*, **38** (2), 185-192. <https://search.proquest.com/openview/ff40061ef856211c1411206e7c834ffa/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2044520>.
3. Aluko, O.O., Sridhar, M.K.C., & Oluwande, P.A. (2003) Characterization of leachates from a municipal solid waste landfill site in Ibadan, Nigeria. *J. Environ. Health Res.*, **2** (1), 32-37. https://www.researchgate.net/profile/Olufemi_Aluko2/publication/274243919_Characterization_of_leachates_from_a_municipal_solid_waste_landfill_site_in_Ibadan_Nigeria/links/55195a1c0cf2d241f35638bf/Characterization-of-leachates-from-a-municipal-solid-waste-landfill-site-in-Ibadan-Nigeria.pdf.
4. Abu-Zeid, N., Bianchini, G., Santarato, G., & Vaccaro, C. (2004) Geochemical characterisation and geophysical mapping of Landfill leachates: the Marozzo canal case study (NE Italy). *Environ. Geol.*, **45**, 439-447, doi: <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0895-x>.
5. Słomczyńska, B., & Słomczyński, T. (2004) Physico-chemical and toxicological characteristics of leachates from MSW landfills. *Pol. J. Environ. Stud.*, **13** (6), 627-637. <https://pdfs.semanticscholar.org/f6cc/20d54e7074ad55439d5b468305c227fde101.pdf>.
6. Mor, S., Ravindra, K., Dahiya, R.P., & Chandra, A. (2006) Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environ. Monit. Assess.*, **118**, 435-456. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-1505-7>.
7. Øygard, J.K., & Gjengedal, E. (2009) Uranium in municipal solid waste landfill leachate. *Int. J. Environ. Res.*, **3** (1), 61-68. https://ijer.ut.ac.ir/article_33.html.
8. Shevchenko, M., & Medvedieva, O.V. (2010) Ecological evaluation of the impact of solid waste landfills on the state of environment. *Naukovi zapysky – Academic Notes*

- (Ukraine). Kirovohrad: Kirovohrad Volodymyr Vynnychenko State Pedagogical Univ., iss. 10, part II, 313-315. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/5425/1/68.pdf>. (in Ukrainian with English summary).
9. Adeolu, O.A., Ada, V.O., Gbenga, A.A., & Adebayo, A.O. (2011) Assessment of groundwater contamination by leachate near a municipal solid waste landfill. *Afr. J. Environ. Sci. Tech.*, **5** (11), 933-940, doi: 10.5897/AJEST11.27.
10. Bhalla, B., Saini, M.S., & Jha, M.K. (2013) Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill. *Int. J. Res. Engineering Tech.*, **02** (08), 223-232. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.681.5957&rep=rep1&type=pdf>.
11. Azimov, O.T., Bakhmutov, V.G., Voytyuk, Yu.Yu., Dorofey, Ye.M., Karmazynenko, S.P., & Kuraeva, I.V. (2018) Reconnaissance integrated geoecological study of the disposal region for municipal solid waste with the aim of environmental assessment. *12th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (13-16 November 2018, Kyiv, Ukraine)*, Extended Abstr., 5 p., doi: 10.3997/2214-4609.201803142.
12. Azimov, O.T., Tomchenko, O.V., Karmazynenko, S.P., Kuraeva, I.V., & Voytyuk, Yu.Yu. (2018) Monitoring the municipal solid waste landfill areas using the remote sensing technologies. *Program development on the waste management for the united territorial communities: key problematic issues and the best practices: Proc. National Forum "Waste management in Ukraine: legislation, economics, technologies" (Kyiv, 22-23 November 2018)*. Kyiv: Centre for the ecological education and information, 84-87. (in Ukrainian).
13. Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Voytyuk, Yu.Yu., Samchyk, A.I., Karmazynenko, S.P., & Bakhmutov, V.G. (2018) Ecological-geochemical assessment of the territories for the municipal solid waste disposal. *Poshukova ta ekolohichna geokhimiia – Explor. Environ. Geochem. (Ukraine)*, **1** (19), 22-26. (in Ukrainian with English summary).
14. Azimov, O.T., Karmazynenko, S.P., Kuraeva, I.V., & Voytyuk, Yu.Yu. (2019) Analysis of the results of the complex geochemical investigations of samples for the landscape components within the affected zone of municipal solid waste disposal areas. *Proc. Int. Sci. Ecological Conf. "Waste, the reasons of their formation and prospects of utilization" (Krasnodar city, 26-27 March 2019)*; Compiler Novopoltseva, L.S.; Ed. Beliuchenko, I.S. Krasnodar: Kuban State Agrarian Univ., 198-200. <http://www.ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2019.pdf>. (in Russian).
15. Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Trofymchuk, O.M., Karmazynenko, S.P., Dorofey, Ye.M., & Voytyuk, Yu.Yu. (2019) Estimation of the heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the solid domestic waste landfills. *18th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine)*, Conf. Pap., 7 p., doi: 10.3997/2214-4609.201902129.
16. Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Karmazynenko, S.P., & Zlobina, K.S. (2019) Rational complex for the geochemical methods in the environment study of the municipal solid waste disposal areas. *Proc. 6th Int. Geol. Forum "Actual problems and prospects of the development of geology: science and production" (17-22 June 2019, Odesa, Ukraine)*. Kyiv: UkrSGRI, 13-16. http://ukrdgri.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/material_geoforum_2019_1.pdf. (in Ukrainian with English summary).
17. Azimov, O.T., Trofymchuk, O.M., Kuraeva, I.V., & Karmazynenko, S.P. (2019) Estimations of heavy metals in soils and different landscape components within the municipal solid waste disposal areas. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia – Environ. Safety Nat. Resources (Ukraine)*, **2** (30), 5-17, doi: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.2.5-17>. (in Ukrainian with English abstract).
18. Trofymchuk, O.M., Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Zlobina, K.S., & Karmazynenko, S.P. (2019) Features of the monitoring hydrosphere processes within the techno-ecosystems of the solid municipal waste disposal areas using remote sensing technologies. In: Dovhyi, S.O. (Ed.) *Multi-authored monograph based on Proc. 18th Int. Sci. & Practical Conf. "Modern*

- Information Technologies of the Ecological Management, Natural Resource Use and Emergency Measures: Topical Issues*” (Kyiv, 01-02 October 2019). Kyiv: LLC Yuston Press, 72-76. https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/10/1_%D0%9A%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0_%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82.pdf. (in Ukrainian).
19. Azimov, O.T., Dorofey, Ye.M., Trofymchuk, O.M., Kuraeva, I.V., Zlobina, K.S., & Karmazynenko, S.P. (2019) Monitoring and assessment of impact of municipal solid waste landfills on the surface water quality in the adjacent ponds. *13th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (12-15 November 2019, Kyiv, Ukraine)*, Conf. Pap., 6 p., doi: 10.3997/2214-4609.201903228.
20. Azimov, O., Kuraeva, I., Bakhmutov, V., Voytyuk, Yu., & Karmazynenko, S. (2019) Assessment of the heavy metal distribution in soils within the areas for the municipal solid waste disposal. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia – Visnyk (Bull.) Taras Shevchenko National Univ. of Kyiv: Geol. (Ukraine)*, 4 (87), 76-80. [http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2019/N4\(87\)/Azimov.pdf](http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2019/N4(87)/Azimov.pdf). (in Ukrainian with English abstract).
21. Kaliaskarova, Z.K., Aliyeva, Zh.N., Ikanova, A.S., & Negim, E.S.M. (2019) Soil pollution with heavy metals on the land of the Karasai landfill of municipal solid waste in Almaty city. *KR YGA Habarlary. Heolohiya men tehnikalyk hylymdar seriyasy – News Acad. Sci. Republic Kazakhstan: Geol. Tech. Sci.*, 6 (438), 256-267. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.177>.
22. Azimov, O.T., Zlobina, K.S., Karmazynenko, S.P., & Kuraeva, I.V. (2020) Monitoring surface water quality in the regions of municipal solid waste disposal. *Proc. Int. Sci. Ecological Conf. “Agricultural landscapes, their stability, and the development features” (Krasnodar city, 24-26 March 2020)*; Compiler Novopoltseva, L.S.; Ed. Beliuchenko, I.S. Krasnodar: Kuban State Agrarian Univ., 340-343. <http://ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2020.pdf>. (in Russian).
23. Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Trofymchuk, O.M., Karmazynenko, S.P., & Zlobina, K.S. (2020) The heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the areas of municipal solid waste landfills. *Geoinformatyka – Geoinformatics (Ukraine)*, 1 (73), 82-98. <http://www.geology.com.ua/>. (in Ukrainian with English abstract).
24. Azimov, O.T., Trofymchuk, O.M., Kuraeva, I.V., Zlobina, K.S., Karmazynenko, S.P., & Dorofey, Ye.M. (2020) Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills. *19th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine)*, Conf. Pap., 7 p. <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2020/05/17388.pdf>.
25. Karmazynenko, S.P., Kuraeva, I.V., Samchuk, A.I., Voitiuk, Iu.Iu., & Manichev, V.I. (2014) *Heavy metals in the components of the environment Mariupol City: Ecological and geochemical aspects*. Kyiv: Interservis. <https://igu.org.ua/sites/default/files/pdf-text/heavy-metals-m.pdf>. (in Ukrainian with English abstract).
26. Lyuta, N.G. (2004) On application of geochemical criteria (backgrounds and total pollution index) for the assessment of landscapes geochemical conditions. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI – Sci. Proc. UkrSGRI (Ukraine)*, 2, 162-169. (in Ukrainian with English summary).
27. <https://www.google.com/maps>.
28. *Environmental protection. Soils. Methods of sampling and preparing of samples for the chemical, bacteriological, and helminthological analyses: GOST 17.4.4.02–84* (2008). [Acting after 1986–01–01]. Moscow: Standardinform. (in Russian).
29. Arinushkina, E.V. (1970) *Manual on soil chemical analysis*. 2nd Eds, revised and enlarged. Moscow: Moscow Univ. Press. (in Russian).
30. Samchuk, A.I., Bondarenko, G.N., Dolin, V.V., Sushchik, Yu.Ya., Shramenko, I.F., Mitskevich, B.F., & Egorov, O.S. (1998) Physical and chemical conditions promoting formation of mobile forms of toxic metals in soils. *Mineralogicheskii zhurnal – Mineral. J. (Ukraine)*, 20 (2), 48-59. (in Russian with English summary).

31. Kuznetsov, V.O., & Shimko, G.A. (1990) *The method of stage-by-stage extracts for the geochemical studies*. Minsk: Nauka i tekhnika. (in Russian).

The article was received 17.04.2020 and was accepted after revision 24.07.2020

Трофимчук Олександр Миколайович

доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13
ORCID ID 0000-0003-3782-4209 **e-mail:** itelua@kv.ukrtel.net

Кураєва Ірина Володимирівна

доктор геологічних наук, професор, завідувач відділу геохімії техногенних металів та аналітичної хімії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України
Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, проспект Академіка Палладіна, 34
ORCID ID 0000-0003-3113-7782 **e-mail:** ki4412674@gmail.com

Азімов Олександр Тельманович

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України
Адреса робоча: 01054 Україна, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-б
ORCID ID 0000-0002-5210-3920 **e-mail:** azimov@casre.kiev.ua

Кармазіненко Сергій Петрович

кандидат географічних наук, старший науковий співробітник Інституту географії НАН України
Адреса робоча: 01030 Україна, м. Київ, вул. Володимирська, 44
ORCID ID 0000-0001-8268-7851 **e-mail:** karmazinenko78@gmail.com

Злобіна Катерина Сергіївна

кандидат геологічних наук, молодший науковий співробітник Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України
Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, проспект Академіка Палладіна, 34
ORCID ID 0000-0001-8823-4642 **e-mail:** ecaterinka@ukr.net

UDC 130.2+159.943.64

Gennadiy N. Sadicov, PhD, Professor of the Department of chemistry, ecology and expert technologies

e-mail: sadicov707@gmail.com

Petro G. Kyrienko, PhD, docent of Department of chemistry, ecology and expert technologies

e-mail: p.kirienko@khai.edu

Sergii O. Lobov, PhD, docent of Department of chemistry, ecology and expert technologies

e-mail: s.lobov@khai.edu

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine

COMPREHENSIVE CONTENT OF SAFETY OF VITAL ACTIVITY

Abstract. *The discipline “Safety of vital activity” emergence as a mandatory subject in schools and universities is related to increased amount and the “quality” of risks generated by scientific and technological progress and appearance of environmental changes within the modern society the technosphere. The safety of vital activity initial foundations is initiated in the family and are subsequently formed and developed in the preschool institution. From the socialization perspective of the individual, the school years are classified as primary school age, adolescence, youth, that characterize socially constructed age periods. This indicates the necessity of creative approaches with including the training programs for safety of vital activity basics. In many cases the training programs and manuals on safety of vital activity programs contains a list of emergencies and the rules of conduct within the occurrence of it, in the absence of the causal analysis, of the medium and long-term consequences of their impact, which is the fundamental in understanding of the essence, predicting and preventing such situations. An alternative to resolving such contradictions can be the introduction of “Ecology” and “Valeology” as mandatory subjects, which appeared concurrently with the “Safety of vital activity”, and then disappeared from many educational programs. This range of educational programs represents the organic unity and internalinter connection and focusing increasingly on solving practical problems with concrete results in ensuring the safety of society. The Valeology is the branch of modern preventive medicine aimed to promoting healthy lifestyles. The achievement of Valeology is the separation between health and illness of an intermediate, “third state”, when a person is not sick yet, but is no longer healthy. The above characteristics of Ecology and Valeology, which makes visible the organic unity and internal relationship with the “Safety of vital activity”. The full pedagogical content of safety and life, and activities in modern conditions of societies existence can be considered as a single set.*

Key words: *pedagogics; risks; scientific and technological progress; valeology; ecology; related; modern society; foundation; primary school age; training programs; fundamental in understanding of the essence; vital activity basics; medicine*

Г.М. Садіков, П.Г. Кириченко, С.О. Лобов

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”, м. Харків, Україна

КОМПЛЕКСНИЙ ЗМІСТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

***Анотація.** Поява навчальної дисципліни «Безпека життєдіяльності» як обов’язкового предмета в школах та університетах пов’язана із збільшенням кількості та «якості» небезпек, породжених науково-технічним прогресом, і виникненням зміненого середовища проживання сучасного суспільства – техносфери. Початкові основи безпеки життєдіяльності закладаються в сім’ї, а згодом формуються та розвиваються в дошкільному закладі. З точки зору соціалізації особистості шкільні роки класифікуються як молодший шкільний вік, підлітковий вік, молодість – характерні вікові періоди. Це обумовлює необхідність застосування творчих підходів щодо включення навчальних програм з безпеки основ життєдіяльності. У багатьох випадках навчальні програми та посібники з безпеки програм життєдіяльності містять перелік надзвичайних ситуацій та правила поведінки в разі їх виникнення, за відсутності причинного аналізу, середньо- та довгострокових наслідків їх впливу, що є фундаментальним у розумінні сутності, прогнозуванні та запобіганні таким ситуаціям. Альтернативним підходом з метою вирішення таких суперечностей може бути введення “Екології” та “Валеології” як обов’язкових предметів, які вже з’явилися у шкільній програмі одночасно з “Безпекою життєдіяльності”, але потім зникли з багатьох освітніх програм. Цей комплекс освітніх програм становить органічну цілісність та має внутрішній взаємозв’язок і все більше зосереджується на вирішенні практичних проблем із конкретними результатами у забезпеченні безпеки суспільства. Валеологія – це розділ сучасної профілактичної медицини, спрямований на пропаганду здорового способу життя. Досягненням валеології є виділення між здоров’ям та хворобою проміжного, „третього стану”, коли людина ще не хвора, але вже не здорова. Комплекс означених дисциплін є основою формування інстинкту безпеки життєдіяльності в умовах постійного збільшення кількості небезпек, зумовлених науково-технічним прогресом.*

***Ключові слова:** педагогіка; ризики; науково-технічний прогрес; валеологія; екологія; сучасне суспільство; фундамент; молодший шкільний вік; навчальні програми; основи життєдіяльності; ліки*

Introduction

The appearance of the subject “Safety of vital activity” in schools and universities as a compulsory discipline is associated with an increase in the number and “quality” of dangers generated by scientific and technological progress (STP) and the appearance of a modified living environment of modern society – the technosphere. The history of the emergence and development of discipline begins in the late 80s, early 90s of the last century, the period is relatively short, 30 years. During this period, the discipline gained accelerated development, which allows us to consider it as a social order of the society to anticipate and prevent the dangers of STP.

Main part

The subject “Basis of safety of vital activity” discipline in its official purpose is studied in institutions of primary, general, secondary and vocational education and is aimed at developing a safety culture, preparing students for safe behavior in everyday life, in dangerous situations, including in emergency situations. An official status remark is such a definition as the development of a safety culture. For the first time, this definition appeared in 1986 in the process of analyzing the causes and consequences of the Chernobyl accident, and the term was introduced by the International Nuclear Safety Advisory Group in the “Final Report of the Meeting to Review the Causes and Consequences of the Chernobyl Accident”. The report showed that the lack of a safety culture was one of the reasons for the Chernobyl tragedy. The International Atomic Energy Advisory Group under the IAEA Director General has proposed the following definition of this concept. Safety culture is such a set of characteristics and features of organizations' activities and the behavior of individuals that establishes that the problems of the nuclear power plant, as having the highest priority, are given attention, determined by their significance. Despite the complex of measures taken in the field of life safety, there is no steady tendency to reduce human losses and material damage from accidents, catastrophes, natural disasters, various dangerous situations in everyday life, the social sphere, and in production. At present, it has become obvious that the process of ensuring safety of vital activity cannot be reduced only to such a traditional, sufficiently approved direction as the formation of knowledge and skills among the population. The practice, results of psychological, pedagogical, and social studies show that, largely, the success of activities in any field depends, in addition, on the emotional and value attitudes of people, their motives for behavior, personal and professional qualities and abilities, confidence in the need and effectiveness of activities. Experience shows that the activity to increase the reliability of technical objects, create algorithms for their safe management, develop perfect means and methods of protection against emergency situations of a natural, technogenic and biological-social nature is ineffective without taking into account the human factor [1].

The long-term period of using the safety culture did not provide significant results in this problem. Currently, the concept of culture is used in various areas of life and society (the culture of microorganisms, tissue culture, production culture, physical culture, culture of consumption of alcoholic beverages, etc.). The concept of culture has become a multifaceted, amorphous form with an indefinite social content. The methodological content of the subject of safety of vital activity at school should be more specific and focused, ensuring the formation of a worldview of security. Worldview – a system of principles, views, values, ideals and beliefs that determine the direction of activity and attitude to the reality of an individual, class or society as a whole. The presence of beliefs is a distinctive feature in determining the worldview. Their presence is formed by the character traits and mood of a person based on individually – typological personality traits: temperament, character, volitional qualities, abilities, emotional content, level of motivation. Beliefs combined with personal characteristics of a person allow him to take an active life position in the struggle for his views, ideals and beliefs, i.e. for his worldview.

Worldview, unlike culture, has clearly defined boundaries and does not allow their violation. Another important methodological circumstance when compiling subject for the basics of safety of vital activity at school is that the concept of culture

involves the transfer of experience and traditions to the next generation, which are formed and consolidated in public life as a result of a long time period, but constantly increasing growth rates of scientific and technological progress to the lack of continuity of generations. At present, the experience of the previous generation is not transmitted, and in some cases is not accepted by the next. Therefore, the culture of life safety as the transfer of experience, customs, traditions, skills from generation to generation is not necessary. Under these conditions, new methodological approaches and organizational decisions are needed at the level of worldview beliefs [3, 4, 5].

From the standpoint of personality socialization, school years, which are divided into primary school age, adolescence, youth, are characterized by socially determined age periods. The periods of “youthful maximalism”, when white must necessarily be only white, black only black and various transitional states are unacceptable, are most favorable for the formation of a worldview of security, they can be stable and unchanged in subsequent life. In adulthood, they can be corrected due to economic, socio-political, national and many other circumstances, processes, phenomena, but the worldview positions formed in the school years are more stable. This shows the need for a creative approach when creating training programs for the basics of vital activity safety. In most cases, training programs and manuals on vital activity safety programs contain a list of emergencies and rules of conduct when they occur, in the absence of a causal analysis, the medium and long-term consequences of their impact, which is fundamental in understanding the essence, predicting and preventing these situations.

The official definition of safety pedagogy is a scientific direction on the laws governing the development of a person’s life experience in the field of life safety. Life experience is the basis of professionalism, pedagogical mastery, it is both a source, and a means, and the result of a person’s spiritual development [7]. A person’s life experience is an analysis, synthesis, and generalization of it through trial and error.

Professionalism in the context of the growing quantity and quality of scientific and technological risks due to the constantly increasing power supply and the emergence of energy-intensive technologies requires a different methodological approach to the content of education aimed at ensuring safety. Since when resolving issues of ensuring the safety of activities, the issues of the economic content of this activity, profitability, productivity, and other economic indicators are primarily resolved, and secondarily, the environmental impact of this activity and long-term consequences. Given the existing power supply, any activity leads to the disruption or destruction of evolutionarily developed ecosystems, causing the emergence of new dangers that can be much more dangerous than the primary ones.

Under these conditions, the task of safety pedagogy is to find a compromise, a middle ground between the economic content of activities and the environmental content of environmental protection. The search for compromises in the preparation of life safety training programs will constantly increase, as to stop the development of scientific, technical progress is practically impossible, and to tear modern society from the benefits of civilization, which is defined, as a consumer society is not a real task. An alternative in eliminating these contradictions may be the introduction of such subjects as “Ecology” and “Valeology” as compulsory educational disciplines, they appeared simultaneously with “Safety of vital activity”, but later on, they safely disappeared from many curricula.

The introduction of these subjects as mandatory will allow us to consider the safety of vital activity as a discipline in a methodological plan, which contains not only a list of dangers and rules of behavior in these conditions, but a causal analysis of the occurrence of dangers is given to the methodological content of life safety. This is a significant addition to the safety of life of society as a whole, because allows you to predict, make appropriate decisions and carry out preventive work to eliminate the danger, both in specific conditions and in the long run.

This set of academic disciplines represents organic unity and internal interconnection and is aimed mainly at solving practical problems with specific results in ensuring the safety of society. The relevance of this complex will constantly increase as the number and “quality content” of the dangers posed by scientific and technological progress increase. Currently, the greatest number of dangers is associated with the emergence of environmental problems, a time for which the environmental crisis from abstraction has acquired quite real outlines. The development and growth of environmental problems depends on changes in the relationship of human society with the environment. Modern society is not able to abandon the innovations of scientific and technological progress, their quantity and quality will increase from year to year.

Under these conditions, the main means of protection from the environmental problems of modern progress is to know, understand and foresee them during the period of education of vital activity safety, at all its stages, which should be based on environmental perception, environmental thinking, environmental awareness and, ultimately, ecological worldview. This justification is most relevant for technical educational institutions, as the main suppliers of technocracy and, as an alternative to technocracy, the training of environmental engineers, and the most sought-after category of professionals for this period and for the future [2]. The ecological problems of modern society are based on the contradiction between the biological nature of man and his social essence, between the existing habitat of modern man, the technosphere and the biosphere created by many millions of years of evolution. The initial definition of ecology, a section of biology that studies the relationship of animals, plants, microorganisms with each other and with the environment. In the original definition, there is no mention of a person. In the modern definition, at the moment, ecology must be considered as a comprehensive scientific direction that generalizes, synthesizes data from the natural and social sciences about the natural environment and its interaction with man and human society. The goals and objectives of modern ecology have changed significantly, their content is aimed at solving the following environmental problems: the study of the laws of life organization, including in connection with the anthropogenic impact on natural systems, the creation of a scientific basis for the rational exploitation of biological resources, the prediction of changes in nature arising under the influence human activities; determination of permissible limits of human impact on the environment, conservation of the living environment of living organisms, including humans; development of recommendations for the development of human society.

The main theoretical and practical task of ecology is to reveal the general laws of the organization of life and, on this basis, to develop the principles of rational use of natural resources under the conditions of an ever-increasing human influence on the biosphere [8].

A comparative analysis of the initial definition of ecology and a modern interpretation, with its theoretical and practical tasks, shows the organic unity and

interconnection of ecology and the vital activity safety at the current level of development of society.

The main provisions of the theory of life safety are presented in the form of a number of axioms. One of the axioms implies the following: in addition to positive properties and results, man-made technical means, equipment and technologies have the ability to generate hazards, this axiom is considered the main postulate of vital activity safety: any human activity is potentially dangerous [9]. The conclusion from this tough and categorical conclusion consists in the mandatory inclusion in the life safety of the environmental problems of modern society, the number of which is constantly increasing and their qualitative content is constantly changing.

The inclusion of environmental problems in the safety of life allows us to predict and, through foresight, to carry out preventive measures to eliminate potentially dangerous anthropogenic activities, ensure environmental safety and create conditions for rational nature management.

On the basis of the above-mentioned tasks of modern ecology, a completely logical question arises whether scientific and technological progress can be considered progress, the progress of technology is obvious, but it leads to a change in the main factors of life support of air, water, soil and, as a result, the emergence of diseases that are classified as “diseases of civilization”. According to experts of the World Health Organization, the following social risk factors in the development of diseases of civilization are distinguished: irrational, unbalanced diet, sedentary lifestyle (physical inactivity, hypokinesia), high levels of nervous tension (various types of stress), bad habits, lack of education, low general culture and lack of knowledge about a healthy lifestyle, lack of behavior, communication. Diseases of civilization have a more precise definition – lifestyle diseases, they can be considered as retribution for the benefits of civilization. They are directly related to the environmental problems of society, such as cause and effect, environmental change – cause, disease – the result of these changes, the logical conclusion of this connection, the health of society depends on rational protection and environmental protection. The danger of civilization’s diseases for the life of society consists in the fact that their number is constantly increasing and the largest percentage of occurrence occurs in countries with a developed economy and industry, a high level of security and a wealth of the population.

“Valeology” is engaged in the study of lifestyle diseases, among the various conflicting definitions of valeology as a scientific discipline, one can be identified that corresponds to the topic of this article. Valeology is a section of modern preventive medicine aimed at creating a healthy lifestyle (HLS) in people. This definition is fully consistent with the comprehensive content of life safety aimed at protecting public health in modern conditions. The achievement of valeology is the separation between health and illness of an intermediate, “third state”, when a person is not sick yet, but is no longer healthy. The category of people in this state is constantly growing under the influence of a changing environment, lifestyle, and the benefits of the civilization of scientific and technical progress.

The pedagogical valeology has been formed from valeology, and which studies the issues of training and education of a person who has a solid life orientation to health and a healthy lifestyle at various age stages of age development. For this period, this branch of valeology is developing most dynamically, which is due to the following circumstances: the need of society for urgent measures to improve a person through the education of his health culture; the problem of the negative

impact of the educational environment on children's health, the relative cheapness of the introduction and implementation of valueological programs for improving the population. The basic concepts of pedagogical valeology are valeological education, valeological education, valeological education, valeological worldview. Currently, the following basic concepts can be defined that characterize valeology: Valeology is a direction based on the idea of the genetic and functional reserves of the systems of the human organism and the human organism as a whole, ensuring the stability of psychophysiological and sociocultural development and maintaining human health under the influence of changing ones conditions of the external and internal environment [10].

Conclusions

1. The above-mentioned characteristics of “Ecology” and “Valeology” show organic unity and internal relationship with “Safety of vital activity”, the full content of safety and life, and activities in modern conditions of society’s existence has to be considered in a single complex.

2. The complex of these disciplines is the basis for the formation of the life safety instinct in the face of a constant increase in the number of dangers of scientific and technological progress.

REFERENCES

1. Durnev, R.A. (2006). K voprosu o culture besopasnosti dgisnedeyatelnosti. *Tehnologii grazdanskoi bezopasnosti*, (2). (in Russian)
2. Sadikov, G.N., Kobrin, V.N. (2006). Ingener-ekolog – professiya socialnogo sakasa. *Gumanitarni chasopis*, (3). (in Russian)
3. Sadikov, G.N. (2013). Tceli i sadachi besopasnosti dgisnedeyatelnosti – formirovanie mirovosreniya besopasnosti. *Gumanitarni chasopis*, (2). (in Russian)
4. Sadikov, G.N. (2014). K voprosu otnositelnosti novisni ponyatiya «kultura besopasnosti dgisnedeyatenlnosti». *Gumanitarni chasopis*, (2). (in Russian)
5. Sadikov, G.N. (2015). Ierarchiya potrebnostey A. Maslou ne sootvetstvuet biologicheskoi prirode cheloveka. *Gumanitarni chasopis*, (2). (in Russian)
6. Sadikov, G.N. (2017). Besopasnost dgisnedeyatelnosti – religiya XXI veka. *Gumanitarni chasopis*, (3/4). Retrieved from: <https://spiritual.culture.academic.ru/808> (in Russian)
7. Retrieved from: <https://students-library.com/ua/read/9810-ekologiya>
8. Retrieved from: <https://studfiles.net/preview/6468044>
9. Retrieved from: www.Grandors.ru/college/medicina/valeologia.

The article was received 09.04.2020 and was accepted after revision 17.07.2020

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дурнев Р.А. К вопросу о культуре безопасности жизнедеятельности / Р.А. Дурнев / Технологии гражданской безопасности. – 2006. – № 2.
2. Садиков Г.Н. Инженер-эколог – профессия социального заказа / Садиков Г.Н., Кобрин В.Н. // Гуманітарний часопис – Харків, 2006, № 3.
3. Садиков Г.Н. Цели и задачи безопасности жизнедеятельности – формирование мировоззрения безопасности / Г.Н. Садиков // Гуманітарний часопис. – Харків, 2013 – № 2.

4. Садиков Г.Н. К вопросу относительности новизны понятия «культура безопасности жизнедеятельности». / Г.Н. Садиков // Гуманітарний часопис – Харків, 2014, – №2.
5. Садиков Г.Н. Иерархия потребностей А. Маслоу не соответствует биологической природе человека / Г.Н. Садиков // Гуманітарний часопис – Харків, 2015, – №2.
6. Садиков Г.Н. Безопасность жизнедеятельности – религия XXI века. / Г.Н. Садиков Гуманітарний часопис // Харків, 2017, № 3/4.7. [https:// spiritual. culture. acadmic. ru / 808/](https://spiritual.culture.acadmic.ru/808/) – Жизненный опыт.
7. [https:// students – library. com /ua/read/9810 – ekologia](https://students-library.com/ua/read/9810-ekologia)
8. [https:// studfiles. net / preview / 6468044](https://studfiles.net/preview/6468044)
9. [www. Grandors. ru / college / medicina / valeologia.](http://www.Grandors.ru/college/medicina/valeologia)

Стаття надійшла до редакції 09.04.2020 і прийнята до друку після рецензування 17.07.2020

Садіков Геннадій Миколайович

доктор біологічних наук, професор кафедри хімії, екології та експертних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”

Адреса робоча: 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17

e-mail: sadicov707@gmail.com

Кирієнко Петро Григорович

кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії, екології та експертних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”

Адреса робоча: 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17

e-mail: p.kirienko@khai.edu

Лобов Сергій Олександрович

кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії, екології та експертних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”

Адреса робоча: 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17

e-mail: s.lobov@khai.edu

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

УДК 628.4

Dmitry N. Samchenko¹, PhD, Senior Scientist
ORCID ID 0000-0003-3305-8180 *e-mail*: sama30071988@gmail.com

Gennadii M. Kochetov¹, D. S. (Engineering), Professor
ORCID ID 0000-0003-0041-7335 *e-mail*: gkochetov@gmail.com

Aleksey Vasiliev², Dr., Professor
ORCID ID 0000-0003-2687-0672 *e-mail*: vasiliev@etsu.edu

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

² East Tennessee State University, Johnson City, USA

ENERGY-SAVING TECHNOLOGY FOR PROCESSING OF GALVANIC SLUDGE WITH OBTAINING OF RADIO-ABSORBING MATERIALS

Abstract. *The prospective for increasing of environmental safety level of industrial enterprises is considered as result of realization of energy- and resource saving technology for processing galvanic sludge by hydrophase ferritisation method. The possibility of obtaining Ni-Cu-Zn ferrites by processing of galvanic sludge based on of ferritization technology has been studied. Influence of different technological parameters and activation methods of the ferritisation process: thermal and electromagnetic pulse at temperatures of 75°C and 20°C, respectively, on qualitative and quantitative phase content of ferrite sediments has been experimentally determined. The method of electromagnetic pulse activation provides the appropriate degree of heavy metal ions extraction – 99.96%, and also has undeniable energy advantages over thermal, since energy consumption is reduced more than 60%. The efficiency of electromagnetic pulse discharges with magnetic induction amplitude of 0.298 T and a pulse frequency from 0.5 to 10 Hz to obtain environmentally friendly ferrite precipitates has been confirmed. The use of Ni-Cu-Zn ferrite powder for production of coatings that shield the electromagnetic rays in the ultrahigh frequency range is proposed. Obtained sediments have maximum content of crystalline ferromagnetic phases of ferrites – more than 93%. The proposed resource-saving ferritisation process prevents environmental pollution, ensures efficient and rational use of raw materials and energy in industry, as well as allows to obtain marketable products from industrial waste.*

Keywords: *galvanic sludges; ferritization; electromagnetic pulse discharges; radio-absorbing materials*

Д.М. Самченко¹, Г.М. Кочетов¹, А. Васильєв²

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

² Державний університет Східного Теннессі, Джонсон-Сіті, США

ЕНЕРГООЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ ГАЛЬВАНІЧНИХ ШЛАМІВ З ОДЕРЖАННЯМ РАДІОПОГЛИНАЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

***Анотація.** Розглядається перспектива підвищення рівня екологічної безпеки промислових підприємств в результаті реалізації енерго- і ресурсозберігаючої технології переробки гальванічних шламів методом гідрофазної феритизації. Досліджено можливість отримання Ni-Cu-Zn феритів при переробці гальванічних шламів на основі феритизаційної технології. Експериментально визначено вплив на кількісний та якісний фазовий склад феритних осадів різних технологічних параметрів переробки та способів активації процесу феритизації: термічного і електромагнітного імпульсного при температурах 75°C і 20°C, відповідно. Метод електромагнітної імпульсної активації забезпечує належний ступінь вилучення іонів важких металів – 99,96%, а також має незаперечні енергетичні переваги в порівнянні з термічним: енергозатрати знижуються більш ніж на 60%. Підтверджено ефективність застосування електромагнітних імпульсних розрядів з амплітудою магнітної індукції 0,298 Тл та частотою імпульсів від 0,5 до 10 Гц з одержанням екологічно безпечних феритних осадів. Запропоновано використання порошкоподібного Ni-Cu-Zn фериту для виготовлення покриттів, що поглинають електромагнітні хвилі в надвисокочастотному діапазоні. Ферити характеризуються максимальним вмістом кристалічних феромагнітних фаз феритів – більш ніж 93%. Запропонований ресурсозберігаючий процес феритизації запобігає забрудненню навколишнього середовища, забезпечує ефективне і раціональне використання сировини та енергії в промисловості, а також дозволяє отримати товарні продукти з відходів виробництва.*

***Ключові слова:** гальванічні шлами; феритизація; електромагнітні імпульсні розряди; радіопоглинаючі матеріали*

Актуальність дослідження

До найбільш екологічно небезпечних промислових відходів варто віднести металовмісні відходи гальванічних виробництв, які представлені у вигляді пастоподібних шламів [1]. Такі відходи утворюються при традиційному реагентному очищенні стічних вод або робочих розчинів. Гальванічний шлам після нейтралізації має III клас безпеки, у його складі містяться важкорозчинні гідроксиди важких металів (нікелю, міді, цинку, хрому, кадмію), а сам шлам проявляє лужні властивості [2]. Розміщення гальванічних шламів на промислових майданчиках і на значних територіях міської зони дозволяють оцінити їх як джерело високого техногенного впливу на довкілля [3].

Переробка гальванічних шламів з подальшим захороненням їх на спеціальних полігонах є нерентабельною, через що постає завдання розробки ефективних методів утилізації відходів, які містять цінні сполуки важких металів, як останньої завершальної стадії гальванічного виробництва.

Повторне використання вилучених із шламів матеріалів, навпаки, дозволяє зекономити природні ресурси та понизити навантаження на екосистему [4].

Відомі способи вилучення цінних компонентів з гідроксидних шламів гальванічних виробництв економічно і екологічно неефективні. Тому основні напрямки у вирішенні проблеми шламів пов'язані з використанням їх в якості добавок у виробництві різних матеріалів: бетону [5], керамзиту [6], асфальту [7], портландцементу [8], цегли, керамічних виробів [9], пігментів, каталізаторів [10] і т. д. Наведені способи є екологічно безпечнішими, ніж вивезення шламів на неспеціалізовані полігони або в несанкціоновані місця складування. Проте при цьому немає достатнього аналізу санітарно-хімічної безпеки технології виробництва і готових виробів з добавками гальванічних шламів, що важливо для промислового впровадження [11].

З цих причин останнім часом з'явилися публікації про новий напрямок у вирішенні проблеми переробки гальванічних шламів. Він полягає в їх хімічній стабілізації, в результаті якої утворюються нешкідливі або малотоксичні сполуки важких металів IV класу небезпеки. Їх можна складувати на відкритих майданчиках без загрози забруднення навколишнього середовища. Такими сполуками можуть бути ферити, які мають цінні магнітні властивості [12]. Крім того, ферити спроможні до екозахисту живих організмів від електромагнітного випромінювання. Інтерес до феритів викликаний все зростаючим попитом на вироби з високочастотних магнітних матеріалів, які широко застосовуються в сучасному машинобудуванні, приладобудуванні, системах управління, сучасних автоматизованих лініях та космічній промисловості. Широке використання феритів накладає ряд вимог на характеристики їх одержування. При виробництві феритних матеріалів велика увага приділяється отриманню феритів певного фазового складу.

Останнім часом все більшим попитом користуються Ni-Zn феритові матеріали, які поглинають електромагнітне випромінювання в інтервалі частот менше 1 ГГц за рахунок резонансних явищ [13]. Зазначені матеріали використовуються для виготовлення акустичних камер, магнітних екранів і захисних радіопоглинаючих покриттів. Покриття з Ni-Zn феритових матеріалів захищає об'єкти військової авіації від виявлення локаторами. Крім того, авторами досліджень [14] розроблений новий склад радіопоглинаючого Ni-Cu-Zn ферита з коефіцієнтом відображення при частоті поля 1000 МГц в 36 ДБ. Магнітні властивості нанокристалічних Ni-Cu-Zn феритів досліджені в роботі авторів [15]. Такі ферити мають високу проникність і досить високу радіочастотну добротність. На думку авторів [16, 17], саме феритові радіопоглинаючі матеріали повинні бути розглянуті якнайретельнішим чином при вирішенні питання про захист від випромінювань сучасної техніки.

На теперішній час відомі різноманітні методи одержання різних типів феритів [18-20]. Традиційні технології синтезу феритів базуються на твердофазній взаємодії оксидів, гідроксидів або солей важких металів і мають певні недоліки. Вони енергетично високозатратні: процес випалу та спікання здійснюється вище 1200°C і триває в межах 4 ÷ 5 годин [21, 22].

На відміну від зазначених вище методів одержання феритів, переробка гальванічних шламів гідрофазною феритизацією, як правило, здійснюється при температурі процесу вище 75°C та тривалістю менше години. Цей метод синтезу феритів порівняно з попередньо зазначеними методами є доволі енергоощадним, але водночас залишається енергоємним та ресурсозатратним.

Альтернативою гідрофазній термічній активації може слугувати активація електромагнітними імпульсними (ЕМІ) розрядами при температурі процесу близько 20°C. Тому на часі всебічне дослідження економічно ефективної переробки гальванічних шламів, яка забезпечує необхідний ефект вилучення іонів важких металів з реакційної суміші в екологічно безпечні та цінні сполуки феритів.

Метою цієї роботи є дослідження структурних особливостей одержаних феритних осадів в процесі переробки гальванічних шламів гідрофазною феритизацією при різних параметрах та способах їх отримання.

Методика дослідження

Для дослідження використовувалися зразки феритних осадів, отримані в процесі переробки відпрацьованого сірчаноокислотного розчину травлення сталі та згущеного гальванічного шламу, який є відходом реагентної очистки відпрацьованих електролітів нікелювання, міднення і цинкування. Основні характеристики цих гальванічних відходів представлено в табл. 1 і 2. Феритизаційний процес включає трансформацію іонів дво- і тривалентного феруму (травильний розчин) та інших гідроксидів важких металів (гальванічний шлам) в лужному середовищі з подальшою аерацією киснем повітря. В якості осаджувача використовували 25% розчин гідроксиду натрію. Після синтезу був отриманий набір зразків феритних осадів з певним хімічним складом.

Таблиця 1 – Основні характеристики гальванічного шламу нейтралізації

Вміст іонів важких металів, г/дм ³				рН	Густина (ρ), г/см ³	Вологість (W), %	Сухий залишок, мг/дм ³
Fe ^{заг.}	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺				
0,203	4,732	2,631	1,425	9,81	1,016	93,06	3040

Таблиця 2 – Характеристики відпрацьованого сірчаноокислотного травильного розчину

Матеріал травлення	H ₂ SO ₄ , г/дм ³	Fe ^{заг.} , г/дм ³	SO ₄ ²⁻ , г/дм ³	рН
Сталеві труби	41,0	46,6	79,89	1,45

Для визначення умов утворення феритів металів були проведені експерименти з вивчення впливу різних технологічних параметрів та способів активації процесу феритизації. Зразки феритних осадів отримані при наступних технологічних параметрах проходження процесу переробки, а саме: сумарна концентрація іонів важких металів $C_{\Sigma} = 5,3 \div 20,0$ г/дм³, співвідношення концентрацій іонів $[Fe^{заг.}] / \Sigma Me ([Ni^{2+}] + [Cu^{2+}] + [Zn^{2+}]) Z = 2 \div 6$; величина рН = 8,5 ÷ 10,5; тривалість процесу $\tau = 25$ хв. Швидкість аерації (v) сягала значення 0,15 м³/год. Крім того, осади отримані при термічній (T = 75°C), а також електромагнітній імпульсній (T = 20 ± 2°C) активації процесу феритизації з амплітудою магнітної індукції 0,298 Тл, частотою імпульсів 0,5 ÷ 10 Гц, тривалістю імпульсу 50 ÷ 1000 мс і інтервалом між імпульсами 50 ÷ 1000 мс [23].

Процес отримання феритних осадів проводився на двох лабораторних установках, які представлені в роботі [23, 24]. Вологість висушених феритних осадів знаходиться в діапазоні $1,2 \div 1,9$ %.

Феритні осади після осадження відразу відфільтровувались, висушувались при 105°C протягом 1 доби та подрібнювались у порошок. Процес ущільнення осадів здійснювався методом центрифугування за допомогою центрифуги ОПн-8 (Дастам М, Росія) при факторі розділення (Фр) 3600 протягом 2 хв. Частота обертання ротора становила 6000 об/хв.

Структурний аналіз отриманих осадів проводили методом порошкової рентгенівської дифракції в покроковому режимі з $\text{Cu} - \text{K}\alpha$ випромінюванням на дифрактометрі Ultima IV (Rigaku, Японія). Зйомку проводили в інтервалі кутів 2θ $6 - 70^\circ$ з кроком сканування $0,05^\circ$ та часом експозиції в точці 2 с. Аналіз одержаних спектрів проводився на програмному комплексі PowderCell 2.4. Параметр кристалічної ґратки (а) визначали в прецизійній області кутів.

Для вивчення мікроструктури зразків осадів використовували скануючий електронний мікроскоп-аналізатор РЕММА-101А (SELMІ, Україна).

Залишкові концентрації іонів важких металів (феруму, нікелю, міді і цинку) після переробки гальванічних шламів методом феритизації визначали на спектрофотометрі DR 3900 (Nach, США).

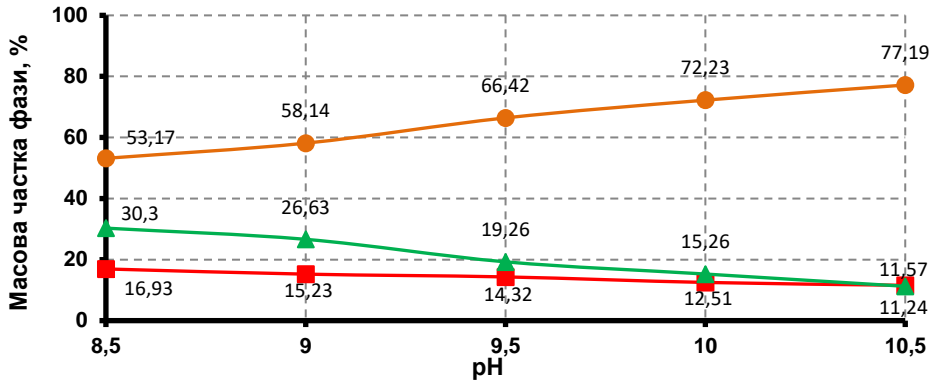
Результати дослідження

В процесі феритизації при різних її способах активації та технологічних параметрах в розчині формувалась чорна дисперсна суспензія із наступним утворенням кристалічних осадів, які мають невеликий об'єм і щільну структуру. З наявних даних про механізм процесу феритизації слід очікувати досить складний фазовий склад отриманих осадів, оскільки можуть бути присутні різні модифікації оксидів і оксигідратів феруму, нікелю, міді та цинку, а також частинки фаз, які за своєю природою є феромагнітними, але завдяки малим розмірам мають парамагнітні властивості [25].

Проведено дослідження якісного та кількісного фазового складу зразків феритних осадів, що отримані в результаті переробки гальванічних шламів при термічній і електромагнітній імпульсній активації та величинах рН ($8,5 \div 10,5$). Інші технологічні параметри феритизації були незмінними: C_Σ ($5,3 \div 20,0$ г/дм³); $Z = 4/1$; $\tau = 25$ хв; $v = 0,150$ м³/год. Ідентифікація фаз в отриманих зразках показала, що в них містяться ферити металів, склад яких відповідає загальній формулі $\text{Ni}_{0,53}\text{Cu}_{0,3}\text{Zn}_{0,17}\text{Fe}_2\text{O}_4$. Виявлені феритні фази мають феромагнітні властивості. Отримані ферити важких металів на відміну від їх гідроксидів не розчиняються при звичайній температурі не лише у воді, але і в розбавлених водних розчинах сильних мінеральних кислот і їдких лугів, що обумовлено особливою будовою їх кристалічної решітки шпінельного типу [26, 27]. Крім того, нами відмічені піки, які відносяться до фази оксигідроксида феруму – нікелю, а саме нікелевого лимоніту $(\text{FeNi})\text{O}(\text{OH})$ з $a = 2,96$ Å, який є менш стабільним в порівнянні з феритами металів, але також має феромагнітні властивості. На рентгенограмах ідентифіковані також піки фази сульфату натрію Na_2SO_4 з $a = 5,84$ Å, який знаходиться в осаді у незначній кількості. Його присутність пояснюється тим, що зразки отриманих феритних осадів не піддавалися попередньому промиванню дистильованою водою.

Результати кількісного фазового аналізу зразків осадів (рис. 1) свідчать про те, що підвищення рН вихідного розчину в діапазоні значень від 8,5 до 10,5 призводить до збільшення феритної фази в осадах: при термічному способі активації на 24,0%, електромагнітному імпульсному – на 36,7%. Це в свою чергу сприяє зменшенню вмісту нікелевого лимоніту $(\text{FeNi})\text{OOH}$ на 19,1% при термічній і на 27,2% при електромагнітній імпульсній активації, також сульфату натрію Na_2SO_4 на 5,4% і 9,5%, відповідно. Слід відмітити, що зразки, які отримані при рН = 10,5 і різних способах активації, мають ідентичний якісний фазовий склад, а кількісний відрізняється лише на 1,0%.

а)



б)

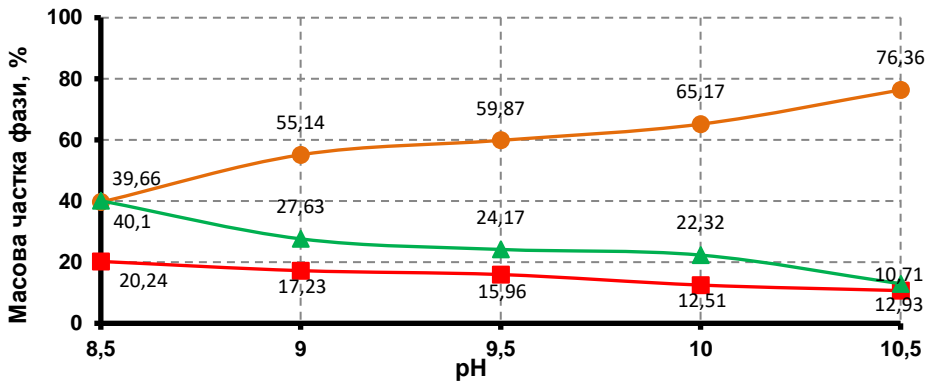


Рис. 1 – Кількісний фазовий склад феритних осадів в залежності від величини рН: термічна активація процесу (а), електромагнітна імпульсна активація процесу (б);
 ● – $\text{Ni}_{0,53}\text{Cu}_{0,3}\text{Zn}_{0,17}\text{Fe}_2\text{O}_4$; ▲ – $(\text{FeNi})\text{OOH}$; ■ – Na_2SO_4

Аналіз структурних досліджень, які представлені на рис. 1, свідчить про те, що зразки, які отримані при термічній і електромагнітній імпульсній активації і рН = 10,5, характеризуються максимальним вмістом фази фериту металу > 76%.

Також було проведено структурні дослідження зразків осадів, в залежності від співвідношення іонів важких металів Z (2/1 ÷ 6/1) (рис. 2). Інші сталі технологічні параметри феритизації: C_{Σ} (10,4 г/дм³); рН = 10,5; τ = 25 хв; v = 0,150 м³/год.

Рентгенограми зразків з Z = 4/1, які отримані при термічній та електромагнітній імпульсній активації, практично співпадають, а різниця

інтенсивності рефлексів несуттєва. Ці зразки мають найбільший ступінь кристалічності структури, в них виявлені такі ж фази, які ідентифіковані при дослідженні впливу величини рН на структуру осаду (рис. 1).

Результати кількісного фазового аналізу зразків (рис. 2) свідчать про те, що підвищення співвідношення концентрації важких металів Z у вихідному розчині від 2/1 до 4/1 призводить до збільшення фаз феритів металів в осадах: при термічному способі активації на 12,2%, електромагнітному імпульсному – 19,7%. Це в свою чергу сприяє зменшенню фази нікелевого лимоніту на 8,5% при термічній активації і на 12,9% при електромагнітній імпульсній. Відповідні значення для сульфату натрію складають 3,7% і 6,7%. При подальшому підвищенні Z вихідного розчину від 4/1 до 6/1 зменшується вміст феритних фаз в осадах: при термічному способі активації на 8,0%, електромагнітному імпульсному – на 26,5% і відповідне збільшення фаз: (FeNi)O(OH) на 4,9% і 19,2%; Na_2SO_4 на 1,1% і 7,3%.

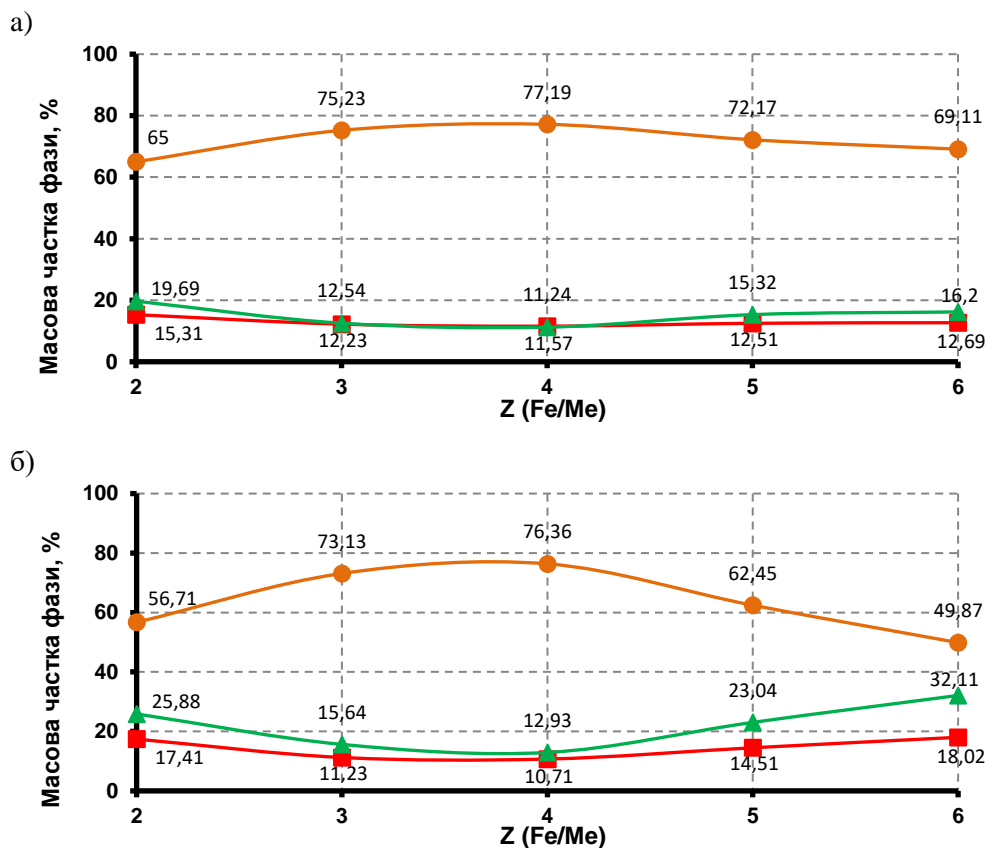


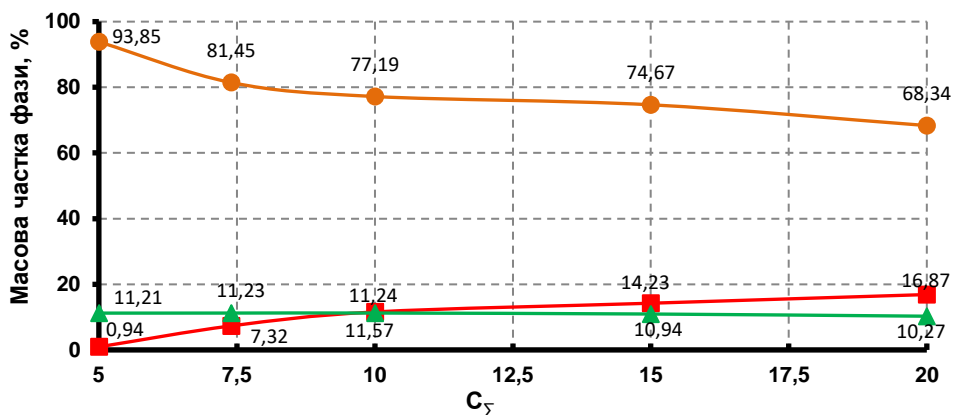
Рис. 2 – Кількісний фазовий склад осадів в залежності від співвідношення концентрації іонів важких металів Z : термічна активація процесу (а), електромагнітна імпульсна активація процесу (б); ● – $\text{Ni}_{0,53}\text{Cu}_{0,3}\text{Zn}_{0,17}\text{Fe}_2\text{O}_4$; ▲ – (FeNi)O(OH); ■ – Na_2SO_4

Проведені структурні дослідження (рис. 2) дозволяють обґрунтувати, чому найкращі результати досягаються при співвідношенні 4/1. На наш погляд, це пов'язано з тим, що при інших значеннях Z , крім утворення феритної фази,

в розчині протікають проміжні твердофазні реакції. Таким чином, утворюються обмежено стійкі в лужному середовищі фази [28], що і призводить до певного збільшення залишкової концентрації іонів нікелю.

Крім того, було проведено дослідження структури осадів, які отримані при різних вихідних концентраціях іонів важких металів $C_{\Sigma} = 5,3 \div 20,0$ г/дм³ та способах активації процесу феритизації (рис. 3). Інші технологічні параметри феритизації залишались сталими, а саме: $Z = 4/1$; $pH = 10,5$. Структурні дослідження феритних осадів свідчать про їх високу кристалічність за виключенням зразка з $C_{\Sigma} = 20,0$ г/дм³, який отримано при електромагнітній імпульсній активації процесу. Дифракційні максимуми цього зразка розширені і мають незначну інтенсивність. Ідентифікація фаз зразків осадів показала, що в них містяться ферити металів, оксигідроксиди феруму та нікелю. Крім того, в зразках з $C_{\Sigma} = 20,0$ г/дм³ нами виявлено дифракційні максимуми, які відносяться до фази лепідокрокіту $\gamma\text{-FeO(OH)}$, який також є феромагнітним компонентом осаду. На рентгенограмах були виявлені також піки сульфату натрію.

а)



б)

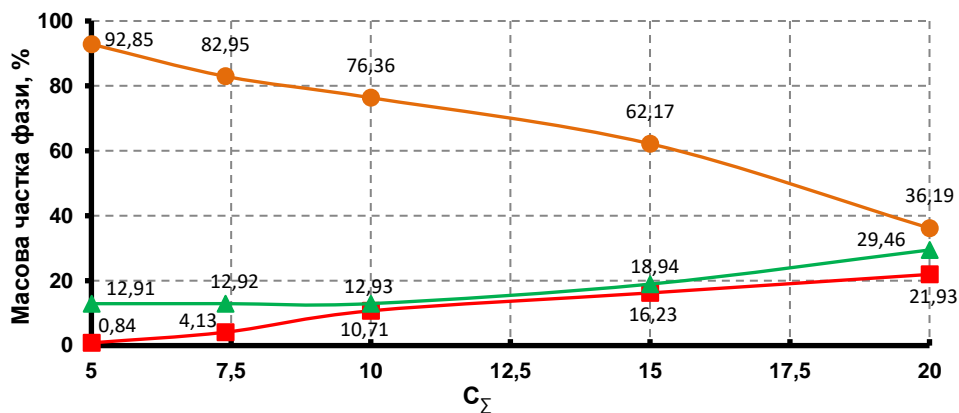


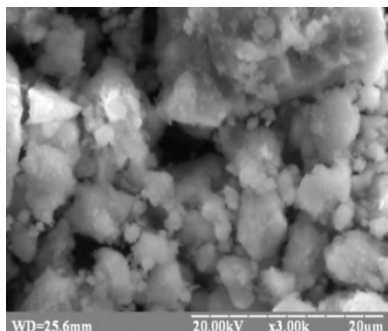
Рис. 3 – Кількісний фазовий склад осадів в залежності від вихідної сумарної концентрації важких металів C_{Σ} : термічна активація процесу (а), електромагнітна імпульсна активація процесу (б); ● – $\text{Ni}_{0,55}\text{Cu}_{0,3}\text{Zn}_{0,17}\text{Fe}_2\text{O}_4$; ▲ – $(\text{FeNi})\text{O}(\text{OH})$; ■ – Na_2SO_4

Результати кількісного фазового аналізу зразків осадів (рис. 3) свідчать про те, що підвищення вихідної концентрації іонів металів C_{Σ} в діапазоні значень від 5,3 до 20,0 г/дм³ в розчині призводить до зменшення феритних фаз в осадах: при термічному на 25,5%, електромагнітному імпульсному – 56,7%. За цих умов відбувається незначне зменшення фази нікелевого лимоніту при термічній на 0,9% та збільшення цієї фази при електромагнітному імпульсному на 16,5%. Крім того, при високих значеннях $C_{\Sigma} = 20,0$ г/дм³ ідентифіковано фазу лепідокрокіту γ -FeO(OH) в кількості 4,5% при термічній та значеннях $C_{\Sigma} = 15,2 \div 20,0$ г/дм³ з електромагнітною імпульсною активацією – 2,7 та 12,4% відповідно. Слід зазначити, що підвищення C_{Σ} сприяє до збільшення фази сульфату натрію: термічному на 15,9%; електромагнітному імпульсному – 21,1%.

Аналіз структурних досліджень отриманих осадів (рис. 1–3) засвідчив, що зразки, які отримані при термічному і електромагнітному імпульсному способі активації та технологічних параметрах феритизації ($C_{\Sigma} = 5,3$ г/дм³; $Z = 4/1$; рН = 10,5; $\tau = 25$ хв; $v = 0,15$ м³/год) характеризуються максимальним вмістом фаз феритів $\geq 93\%$. Вплив різних способів активації на фазовий склад осадів не суттєвий при зазначених умовах проведення процесу феритизації. Отримані при цих умовах ферити мають високі значення магнітних властивостей та можуть використовуватися як сировина для виготовлення радіопоглинаючих покриттів.

Дані рентгенофазового аналізу добре корелюють з результатами електронної мікроскопії осадів (рис. 4); дослідження провадились на зразках осадів, які отримані при визначених нами найкращих умовах феритизації: $C_{\Sigma} = 5,3$ г/дм³; $Z = 4/1$; рН = 10,5; $\tau = 25$ хв; $v = 0,15$ м³/год [24].

а)



б)

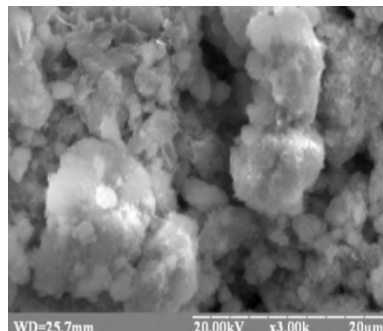


Рис. 4 – Мікрофотографії зразків осадів з термічною (а) та електромагнітною імпульсною (б) активацією; збільшення в 3000 разів

Як видно з рис. 4, в процесі переробки гальванічних шламів феритизацією при різних способах активації процесу формується осад з дисперсною структурою, а зразки осадів містять кристали неправильної форми в поровому просторі.

Результатами дослідження встановлено, що при застосуванні електромагнітного імпульсного та термічного способів активації і зазначених вище технологічних параметрах феритизації ступінь вилучення іонів важких металів в середньому сягає 99,96%. При цих умовах залишкові концентрації іонів важких металів досягають значень: $Fe^{заг.} - 0,1$; $Ni^{2+} - 0,22$; $Cu^{2+} - 0,1$;

Zn^{2+} – 0,1 мг/дм³. Якість очищеного розчину відповідає вимогам до води, що використовується на гальванічному виробництві, та умовам скиду в міську каналізацію, щодо ГДК зазначених іонів важких металів.

Слід зазначити, що важливою перевагою електромагнітного імпульсного способу активації є його енергоефективність. В результаті приведених розрахунків встановлено, що електромагнітний імпульсний спосіб активації процесу феритизації дає можливість на 60% зменшити витрати електроенергії при обробці реакційної суміші в порівнянні з термічною активацією.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Одне із перспективних рішень науково-технічної задачі забезпечення ефективного захисту різних об'єктів від електромагнітного випромінювання дозволяє отримати розроблена нами ресурсозберігаюча феритизаційна технологія переробки гальванічних шламів з одержанням радіопоглинаючих феритів важких металів. Застосування електромагнітного імпульсного способу активації реакційної суміші в процесі феритизації дає можливість істотно знизити температуру синтезу отриманих феритів ($Ni_{0,53}Cu_{0,3}Zn_{0,17}Fe_2O_4$), які характеризуються максимальним вмістом магнітних фаз (більше ніж 93%).

Таким чином, при переробці гальванічних шламів, які містять токсичні сполуки важких металів, за розробленою технологією феритизації отримується водний розчин із вмістом іонів важких металів в межах 0,1 ÷ 0,22 мг/дм³ та ступенем їх вилучення, що перевищує 99,96%. Очищена вода придатна для повторного використання на гальванічному виробництві (наприклад, при промиванні деталей після осадження на них нікелевих, мідних, цинкових та інших гальванічних покриттів). Отриманий осад в результаті феритизаційної переробки після просушування може використовуватись як цінний феритний порошок.

Розроблена технологія переробки гальванічних шламів майже безвідходна, оскільки передбачає використання осаду феритизації у вигляді сировини для отримання радіопоглинаючих матеріалів.

В подальшому вважаємо за доцільне дослідити отриманий нами ферит $Ni_{0,53}Cu_{0,3}Zn_{0,17}Fe_2O_4$ на коефіцієнт поглинання електромагнітної енергії при різній високій частоті поля 1 ÷ 30 ГГц. Крім того, подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку радіопоглинаючих будівельних оздоблювальних матеріалів на основі отриманих феритів, за запропонованою технологією.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Boshnyak M.V. Evaluation of the processing opportunity of galvanic production sludges with nickel recovery / M.V., Boshnyak, A.R., Galimianov, O.B. Kolmachikhina // Solid State Phenomena, 2018. – Vol. 284. – P. 790–794.
2. Pashayan A.A. Recycling of electroplating wastes without formation of galvanic sludges / A.A., Pashayan, D.A. Karmanov // Ecology and Industry of Russia, 2018. – Vol. 22(12). – P. 19–21.
3. de Oliveira C.L.M. Characterization of galvanic sludges waste derived of the metal plating industry from Cariri region, Northeastern of Brazil / C.L.M., de Oliveira, F.J.P., Filho, J.V.B., Moura, D.M.G., Freitas, M.O., Santiago // Materials Science Forum, 2018. – Vol. 930 MSF. – P. 541–545.

4. Zlebek T. Repairing composite using hazardous waste containing heavy metals / T., Zlebek, J., Hodul, R., Drochytka // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. – Vol. 385(1). – P. 68–74.
5. Król A. Effect of high temperature on immobilization of heavy metals in concrete with an addition of galvanic sludge // WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2008. – Vol. 109. – P. 331–339.
6. González-Corrochano B. Valorization of washing aggregate sludge and sewage sludge for lightweight aggregates production / B., González-Corrochano, J., Alonso-Azcárate, L., Rodríguez, M.D., Corvinos, C., Muro // Construction and Building Materials, 2016. – Vol. 116. – P. 252–262.
7. Bednarik V. Stabilization/solidification of galvanic sludges by asphalt emulsions / V., Bednarik, M., Vondruska, M., Koutny // Journal of Hazardous Materials, 2005. – Vol. 122 (1-2). – P. 139–145.
8. Krivenko P. Design of the composition of alkali activated Portland cement using mineral additives of technogenic origin / P., Krivenko, O., Petropavlovsky, O., Kovalchuk, A., Pasko, S., Lapovska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2018. – Vol. 4/6 (94). – P. 6–15.
9. Castañeda Bocanegra J.J. Encapsulation in ceramic material of the metals Cr, Ni, and Cu contained in galvanic sludge via the solidification/stabilization method / J.J., Castañeda Bocanegra, E., Espejo Mora, G.I., Cubillos González // Journal of Environmental Chemical Engineering, 2017. – Vol. 5 (4). – P. 3834–3843.
10. Ol'shanskaya L.N. Recycling of Heavy Metals and Their Compounds from Galvanic Sludges to Produce Pigments and Fillers and the Active Species of Nickel–Iron (Cadmium) Battery Cathodes / L.N., Ol'shanskaya, E.N., Lazareva, L.A., Bulkina // Chemical and Petroleum Engineering, 2016. – Vol. 52(1-2). – P. 138–142.
11. Vilarinho C. Effect of time and acid concentration on metal extraction from galvanic sludges / C., Vilarinho, J., Teixeira, J., Araújo, J., Carvalho // ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), 2017. – Vol. 14. – P. 713–720.
12. Kumar M. Biopolymer modified transition metal spinel ferrites for removal of fluoride ions from water / M., Kumar, H.S., Dosanjh, H., Singh // Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management, 2019. – Vol. 12. – P. 237–245.
13. Аргымбек Б.К. Кристаллическая и магнитная структура гранулированных порошков Mn–Zn- и Ni–Zn-ферритов шпинелей / Б.К., Аргымбек, С.Е., Кичанов, Д.П., Козленко, Е.В., Лукин // Физика твердого тела, 2018. – том 60(9). – С. 1683–1688.
14. Костишин В.Г., Кожитов Л.В., Вергазов Р.М., Андреев В.Г., Морченко А.Т. Радиопоглощающий феррит. Патент РФ № 2417268 от 27.04.2011 г.
15. Hua S. Effects of nanocrystalline ferrite particles on densification and magnetic properties of the Ni–Cu–Zn ferrites / S., Hua, Z., Huaiwu, T., Xiaoli, L., Yingli // J. Mater. Sci, 2007. – Vol. 42. – P. 2849–2853.
16. Kolev S. Nanosized Ferrite Materials for Absorption of and Protection from MW Radiation / S., Kolev, T., Koutzarova // Advanced Nanotechnologies for Detection and Defense against CBRN Agents, 2018. – P. 273–284.
17. Özgür Ü. Microwave ferrites, part 1: fundamental properties / Ü., Özgür, Y., Alivov, H., Morkoç // Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2009. – Vol. 20. № 9. – P. 789–834.
18. Gomes J.A. Structural, chemical, and magnetic investigations of core–shell zinc ferrite nanoparticles / J.A., Gomes, G.M., Azevedo, J., Depuyrot, J., Mestnik-Filho, F.L. Paula // The Journal of Physical Chemistry, 2012. – Vol. 116 (45). – P. 24281–24291.
19. Grasset F. Etourneau. Synthesis and Magnetic Characterization of Zinc Ferrite Nanoparticles with Different Environments: Powder, Colloidal Solution, and Zinc Ferrite–Silica Core–Shell Nanoparticles / F., Grasset, N., Labhsetwar, D., Li, D. C., Park, N., Saito, H., Haneda, O., Cador, T., Roisnel, S., Mornet // Langmuir, 2002. – Vol. 18 (21). – P. 8209.

20. Zhang R. Sol-gel auto-combustion synthesis of zinc ferrite for moderate temperature desulfurization / R., Zhang, J., Huang, J., Zhao, Z., Sun, Y., Wang // *Energy Fuels*, 2007. – 21. – P. 2682–2687.
21. Kong L.B. Progress in synthesis of ferroelectric ceramic materials via high-energy mechanochemical technique / L.B., Kong, T.S., Zhang, J., Ma, F., Boey // *Progress in Materials Sci.*, 2008. – 53. – P. 207–213.
22. Chen D.H. Synthesis of nickel ferrite nanoparticles by sol-gel method / D.H., Chen, X.R., He // *Mater. Res. Bull.*, 2001. – 36. – P. 1369–1377.
23. Kochetov G. M. Development of ferritization processing of galvanic waste with energy saving electromagnetic pulse activation of the process / G. M., Kochetov, T. O., Prikhna, D. M., Samchenko, O. Yu., Kovalchuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019. – 6/10 (102). – P. 6–14.
24. Kochetov G. Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method / G., Kochetov, T., Prikhna, O., Kovalchuk, D., Samchenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. – Vol. 3 (6-93). – P. 52–60.
25. Frolova L.A. Structure and properties of nickel ferrites produced by glow discharge in the Fe^{2+} – Ni^{2+} – SO_4^{2-} – OH^- system / L. A., Frolova, A. A., Pivovarov, A. S., Baskevich // *Russ J Appl Chem*, 2014. – 87(8). – P. 1054–1059.
26. Pecharsky V. K. Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials / V. K., Pecharsky, P. Y., Zavalij // 2nd ed.; Springer: New York, 2009. P. 741.
27. Rodenas L.G. Reactivity of metal oxides: Thermal and photochemical dissolution of MO and MFe_2O_4 (M = Ni, Co, Zn) / L.G., Rodenas, M.A., Blesa, P.J., Morando // *Reactivity Journal of Solid State Chemistry*, 2008. – 181. – P. 2350–2358.
28. Mansour A. X-Ray Absorption Spectra and the Local Structure of Nickel in Some Oxyc compounds and Fluorides / A., Mansour, C., Melendres // *Journal de Physique IV Colloque*, 1997. – 7 (C2). – P. 1171–1176.

Стаття надійшла до редакції 28.05.2020 і прийнята до друку після рецензування 15.07.2020

REFERENCES

1. Boshnyak, M.V., Galimianov, A.R., & Kolmachikhina, O.B. (2018). Evaluation of the processing opportunity of galvanic production sludges with nickel recovery. *Solid State Phenomena*, 284, 790-794.
2. Pashayan, A.A., & Karmanov, D.A. (2018). Recycling of electroplating wastes without formation of galvanic sludges. *Ecology and Industry of Russia*, 22 (12), 19-21.
3. de Oliveira, C.L.M., Filho, F.J.P., Moura, J.V.B., Freitas, D.M.G., & Santiago, M.O. (2018). Characterization of galvanic sludges waste derived of the metal plating industry from Cariri region, Northeastern of Brazil. *Materials Science Forum*, 930 MSF, 541-545.
4. Zlebek, T., Hodul, J., & Drochytka, R. (2018). Repairing composite using hazardous waste containing heavy metals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 385 (1), 68-74.
5. Król, A. (2008). Effect of high temperature on immobilization of heavy metals in concrete with an addition of galvanic sludge. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 109, 331-339.
6. González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Rodríguez, L., Corvinos, M.D., & Muro, C. (2016). Valorization of washing aggregate sludge and sewage sludge for lightweight aggregates production. *Construction and Building Materials*, 116, 252-262.
7. Bednarik, V., Vondruska, M., & Koutny, M. (2005). Stabilization/solidification of galvanic sludges by asphalt emulsions. *Journal of Hazardous Materials*, 122 (1-2), 139-145.

8. Krivenko, P., Petropavlovsky, O., Kovalchuk, O., Pasko, A., & Lapovska, S. (2018). Design of the composition of alkali activated Portland cement using mineral additives of technogenic origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/6 (94), 6-15.
9. Castañeda Bocanegra, J.J., Espejo Mora, E., & Cubillos, G.I. (2017). González Encapsulation in ceramic material of the metals Cr, Ni, and Cu contained in galvanic sludge via the solidification/stabilization method. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (4), 3834-3843.
10. Ol'shanskaya, L.N., Lazareva, E.N., & Bulkina, L.A. (2016). Recycling of Heavy Metals and Their Compounds from Galvanic Sludges to Produce Pigments and Fillers and the Active Species of Nickel–Iron (Cadmium) Battery Cathodes. *Chemical and Petroleum Engineering*, 52 (1-2), 138-142.
11. Vilarinho, C., Teixeira, J., Araújo, J., & Carvalho, J. (2017). Effect of time and acid concentration on metal extraction from galvanic sludges. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 14, 713-720.
12. Kumar, M., Dosanjh, H.S., & Singh, H. (2019). Biopolymer modified transition metal spinel ferrites for removal of fluoride ions from water. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 12, 237-245.
13. Argymbek, B.K., Kichanov, S.E., Kozlenko, D.P., & Lukin, E.V. (2018). Kristallicheskaja i magnitnaja struktura granulirovannyh poroshkov Mn – Zn- i Ni – Zn-ferritov shpinelej. *Fizika tverdogo tela*, 60 (9), 1683-1688. (in Russian)
14. Kostishin, V.G., Kozhitov, L.V., Vergazov, R.M., Andreev, V.G., & Morchenko, A.T. (2011). Radiopogloshhajushij ferrit. *Patent RF № 2417268*. (in Russian)
15. Hua, S., Huaiwu, Z., Xiaoli, T., & Yingli, L. (2007). Effects of nanocrystalline ferrite pattieles on densification and magnetic properties of the Ni-Cu-Zn ferrites. *J. Mater. Sci*, 42, 2849-2853.
16. Kolev, S., & Koutzarova, T. (2018). Nanosized Ferrite Materials for Absorption of and Protection from MW Radiation. *Advanced Nanotechnologies for Detection and Defense against CBRN Agents*, 273-284.
17. Özgür, Ü., Alivov, Y., & Morkoç, H. (2009). Microwave ferrites, part 1: fundamental properties. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 20 (9), 789-834.
18. Gomes, J.A., Azevedo, G.M., Depeyrot, J., Mestnik-Filho, J., & Paula, F.L. (2012). Structural, chemical, and magnetic investigations of core-shell zinc ferrite nanoparticles. *Journal of Physical Chemistry*, 116 (45), 24281-24291.
19. Grasset, F., Labhsetwar, N., Li, D., Park, D. C., Saito, N., Haneda, H., Cador, O., Roisnel, T., & Mornet, S. (2002). Etourneau. Synthesis and Magnetic Characterization of Zinc Ferrite Nanoparticles with Different Environments: Powder, Colloidal Solution, and Zinc Ferrite–Silica Core–Shell Nanoparticles. *Langmuir*, 18 (21), 8209.
20. Zhang, R., Huang, J., Zhao, J., Sun, Z., & Wang, Y. (2007). Sol-gel auto-combustion synthesis of zinc ferrite for moderate temperature desulfurization. *Energy Fuels*, 21, 2682-2687.
21. Kong, L.B., Zhang, T.S., Ma, J., & Boey, F. (2008). Progress in synthesis of ferroelectric ceramic materials via high-energy mechanochemical technique. *Progress in Materials Sci.*, 53, 207-213.
22. Chen, D.H., & He, X.R. (2001). Synthesis of nickel ferrite nanoparticles by sol-gel method. *Mater. Res. Bull.*, 36, 1369-1377.
23. Kochetov, G.M., Prikhna, T.O., Samchenko, D.M., & Kovalchuk, O.Yu. (2019). Development of ferritization processing of galvanic waste with energy saving electromagnetic pulse activation of the process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10 (102), 6-14.
24. Kochetov, G., Prihna, T., Kovalchuk, O., & Samchenko, D. (2018). Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6-93), 52-60.

25. Frolova, L.A., Pivovarov, A.A., & Baskevich, A.S. (2014). Structure and properties of nickel ferrites produced by glow discharge in the Fe^{2+} – Ni^{2+} – SO_4^{2-} – OH^- system. *Russ J Appl Chem*, 87 (8), 1054-1059.
26. Pecharsky, V.K., & Zavalij, P.Y. (2009). *Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials*. 2nd ed. Springer: New York, 741.
27. Rodenas, L.G., Blesa, M.A., & Morando P.J. (2008). Reactivity of metal oxides: Thermal and photochemical dissolution of MO and MFe_2O_4 (M = Ni, Co, Zn). *Reactivity Journal of Solid State Chemistry*, 181, 2350-2358.
28. Mansour, A., & Melendres, C. (1997). X-Ray Absorption Spectra and the Local Structure of Nickel in Some Oxycompounds and Fluorides. *Journal de Physique IV Colloque*, 7(C2), 1171-1176.

The article was received 28.05.2020 and was accepted after revision 15.07.2020

Самченко Дмитро Миколайович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник науково-дослідної частини Київського національного університету будівництва і архітектури
Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31
ORCID ID: 0000-0003-3305-8180 **e-mail:** sama30071988@gmail.com

Кочетов Геннадій Михайлович

доктор технічних наук, професор кафедри хімії Київського національного університету будівництва і архітектури
Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31
ORCID ID: 0000-0003-0041-7335 **e-mail:** gkochetov@gmail.com

Васильєв Олексій

доктор, професор
Державний університет Східного Теннессі
Адреса робоча: PO Box 70695, Johnson City, TN 37614, USA
ORCID ID: 0000-0003-2687-0672 **e-mail:** vasiliev@etsu.edu

UDK 628.3:712.3

Tetiana M. Tkachenko, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Labor Protection and Environment

ORCID: orcid. org/ 0000-0003-2105-5951, *e-mail*: tkachenkoknuba@gmail.com

Ivan O. Prokopenko, student of the Department of Labor Protection and Environment

e-mail: vanya.prokopenko.2001@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

CALCULATION OF MAINTENANCE OF SURFACE DRAINAGE ROOFING OF A GERMAN MANUFACTURER

Abstract. *With the help of some green technologies, such as green roofs, quantitative and qualitative indicators of rainwater can be successfully adjusted. The big advantage of green roofs is the accumulation of moisture, which allows to delay the runoff of storm water, unloading the sewer system and preventing floods. However, an arbitrary increase in accumulated water in a standard green roof structure is not possible, because more amount of moisture can adversely affect vegetation. However, this option is available in the rainwater system on the green roof as an addition to other landscaping systems. The rainwater collection system on the green roof allows to accumulate on average 80 l/m² of rainfall and then release water into the sewer system for a certain period of time (from 24 hours to several days). The purpose of the study – to study the effect of surface runoff on the environment and reduce its negative impact with the help of green roofs. The calculation of the retained surface runoff by the roof of the German manufacturer was carried out according to the original author's method (Tkachenko, T., 2019). The reservoir volume was calculated using the author's advanced Wilo methodology adapted to the climatic conditions of Ukraine. The calculation of the retained surface runoff is done by the roof of the German manufacturer ZinCo. The "green" roof is located in Kiev. The area of the roof is 150 m². ZinCo roof has been found to be able to hold 7950 liters of rainwater and thereby to reduce surface runoff by unloading storm wells. Roof efficiency for the reduction of surface runoff reaches 21.2%, which is a very good indicator. Purified rain water from green roofs can be collected in tanks and used for technical purposes. For collecting rain water from an intensive flat roof with an area of 150 m², a 4 m³ tank is needed for an office staff of 8 people.*

Keywords: *surface runoff; "green" roof; rain water; storage tank*

Т.М. Ткаченко, І.О. Прокопенко

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

РОЗРАХУНОК УТРИМАНОГО ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ ПОКРІВЛЕЮ НІМЕЦЬКОГО ВИРОБНИКА

Анотація. *За допомогою деяких «зелених» технологій, наприклад «зелених» дахів, можна успішно регулювати кількісні та якісні показники дощових стічних вод. Великою перевагою «зелених» дахів є накопичення вологи, що дозволяє відстрочити стік зливової води, розвантажуючи при цьому каналізаційну систему і попереджаючи повені. Однак довільне збільшення накопичуваної води в стандартній структурі «зеленого» даху неможливо, оскільки більша кількість вологи може згубно вплинути на рослинність.*

Проте, така опція доступна в системі дощової води на «зеленій» покрівлі в якості доповнення до інших систем озеленення. Система збору дощової води на «зеленій» покрівлі дозволяє накопичити в середньому до 80 л/м² опадів, а потім протягом певного, визначеного заздалегідь періоду (від 24 годин до декількох днів) вивільнити воду в каналізаційну систему. Мета роботи – дослідження впливу поверхневого стоку на навколишнє середовище та зменшення його негативного впливу за допомогою «зелених» покрівель. Розрахунок утриманого поверхневого стоку покрівлею німецького виробника здійснювався за оригінальною авторською методикою (Ткаченко, Т., 2019). Розрахунок об'єму резервуара здійснювався за удосконаленою автором методикою на базі методики Wilo, адаптованої до кліматичних умов України. Зроблено розрахунок утриманого поверхневого стоку покрівлею німецького виробника компанії ZinCo. «Зелена» покрівля знаходиться у місті Києві. Площа покрівлі дорівнює 150 м². Встановлено, що покрівля ZinCo здатна утримати 7950 л дощової води і цим самим зменшувати поверхневий стік, розвантаживши зливові колодязі. Ефективність покрівлі для зменшення поверхневого стоку сягає 21,2%, що є дуже хорошим показником. Очищена дощова вода з «зелених» покрівель може збиратися в резервуари і використовуватися для технічних потреб. Для збору дощової води з інтенсивної плоскої покрівлі площею 150 м² для офісного колективу з 8 осіб необхідний резервуар об'ємом 4 м³.

Ключові слова: *поверхневий стік; «зелена» покрівля; дощова вода; накопичувальний резервуар*

Вступ

Поверхневий стік з урбанізованих територій є одним із джерел забруднення природних вод. Запобігання впливу цього джерела забруднювачів на якість води поверхневих водойм є одним із заходів із забезпечення екологічної безпеки держави. Саме ця мета вирішується сьогодні системою «зеленого» будівництва за допомогою нових екологічних перспективних «зелених» технологій. Однією з таких технологій є технологія «зелених» покрівель.

Технологія «зелених» покрівель використовується для кількісного та якісного регулювання дощових стоків. Якісне регулювання дощових стоків передбачає їхню фільтрацію та вторинне використання стічних вод, завдяки чому заощаджується цінний природний ресурс – вода.

Під поверхневим стоком розуміють процес переміщення вод атмосферного походження по земній поверхні (стікання дощових, талих і поливомийних вод) у водойми і пониження рельєфу під дією сили тяжіння. При розрахунках визначається величина стоку, що показує кількість води, яка стікає з водозбору за деякий інтервал часу.

Забруднення поверхневого стоку відбувається в результаті розчинення газів та пилу із приземних шарів атмосфери; змиву верхніх шарів ґрунту та зруйнованих дорожніх покриттів; змиву від сміттеконтейнерних майданчиків, забруднених органічними речовинами; промислових відходів у вигляді викидів; витоку нафтопродуктів; миття транспорту та ін.

Зміна погодних умов (наприклад, рясні опади) може призвести до короткочасного перевантаження міської каналізаційної системи. Великою перевагою «зелених» дахів є накопичення вологи, що дозволяє відстрочити стік зливової води, розвантажуючи при цьому каналізаційну систему і попереджаючи повені.

Однак довільне збільшення накопичуваної води в стандартній структурі «зеленої» покрівлі неможливо, оскільки велика кількість вологи може згубно вплинути на рослинність. Проте, така опція доступна в системі дощової води на «зеленій» покрівлі в якості доповнення до інших систем озеленення.

Система збору дощової води на «зеленій» покрівлі дозволяє накопичити в середньому до 80 л/м² опадів, а потім протягом певного, визначеного заздалегідь періоду (від 24 годин до декількох днів) вивільнити воду в каналізаційну систему. Простір, необхідний для зайвої кількості опадів, створюється завдяки сітчастій прокладці, розташованій під фактичним «зеленим» дахом. Тим часом, елементи, які мають першочергове значення для належного функціонування «зеленого» даху (сховище води для рослин, повітряно-водний баланс в кореневій зоні тощо), залишаються без змін. Система збору дощової води може розташовуватися практично під всіма системами озеленення дахів, якщо це допускається конструкцією надбудови, від екстенсивної «зеленої» покрівлі до саду на даху з терасами та автомобільними дорогами. Якщо ж площа покрівлі не дозволяє повністю увібрати дощову воду – наприклад, під час затяжних зливових дощів, то вона все одно фільтрує воду, очищає її та затримує на своїй поверхні. Воді потрібно більше часу, щоб дістатися до водостічних труб, в порівнянні з неозеленою покрівлею. Швидкий сход великих обсягів води небезпечний для районів, розташованих нижче, де злилова каналізація може не впоратися з підвищеним навантаженням.

Використання технологій «зелених» покрівель для кількісного та якісного регулювання дощових стоків набирає актуальності у багатьох країнах світу: Німеччині, Великобританії, Польщі, Франції, США та інших. Однак в Україні практично відсутні науково-технічні розробки та дослідження щодо «зелених» конструкцій та можливостей регулювання ними дощових стоків, методики щодо розрахунку вторинного використання дощових вод. Тому тема даної роботи є актуальною та перспективною для підвищення екологічної безпеки сучасних урбоценозів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Однією з найважливіших екологічних переваг «зелених» покрівель для сучасних урбоценозів є зменшення кількості стічних вод. Швидкий стік значної кількості зливової води з незамоцених мостових і дахів має негативні наслідки. Зокрема, він викликає руйнівні повені [1], ерозію, забруднення й руйнування середовища перебування тварин. Здатність «зелених» покрівель зменшувати цей стік частково за рахунок його уповільнення, частково за рахунок накопичення в ґрунті давно і добре відома. «Зелена» покрівля забезпечує регулювання стоку за рахунок тих же заходів, що і звичайний водорегульовальний басейн.

У порівнянні з подібними способами регулювання дощового стоку, «зелена» покрівля недорога, не вимагає особливого догляду й надійна. «Зелені» покрівлі є єдиним практичним способом контролю стоку в урбанізованих районах, що не вимагають додаткового будівництва. Рослинні покриття даху особливо ефективні в регулюванні швидкості стоку з великих дахів, таких як типові дахи комерційних або освітніх будівель. Вони можуть бути спроектовані так, щоб забезпечувати заданий рівень контролю зливового

стоку, включаючи як зменшення загального річного обсягу стоку (50–60% є звичайною величиною), так і швидкості пікового стоку [2, 3].

Надійна методика передбачення швидкості та кількості зливових стоків з рослинних покрівель була успішно використана в Німеччині, де вже існують великі системи з нульовим стоком. Ці системи в великій мірі засновані на «зелених» дахах. Наприклад, на будівлях Bondorf Transportation Center у Зіндельфінгені досягнуто повну відсутність скидання зливових стоків, в основному за рахунок використання 46 000 м² «зелених» покрівель.

«Зелені» покрівлі поглинають опади і, якщо води мало, вони повертають її в природний кругообіг шляхом випаровування, минаючи міську зливу каналізацію. Цей процес імітує природний спосіб поглинання і віддачі води лісами, який допомагає запобігти повені вниз за течією. Крім того, дощову воду можна збирати у резервуар і використовувати для побутових потреб. Будь-яка, навіть найменша «зелена» покрівля в змозі повністю увібрати шар води завтовшки близько 2,54 см.

Якщо ж площа покрівлі не дозволяє повністю увібрати дощову воду – наприклад, під час затяжних зливових дощів, то вона все одно фільтрує воду, очищає її і затримує на своїй поверхні. Воді потрібно більше часу, щоб дістатися до водостічних труб, в порівнянні з неозеленою покрівлею. Швидкий сход великих обсягів води небезпечний для районів розташованих нижче, де злива каналізація може не впоратися з підвищеним навантаженням.

«Зелені» покрівлі захищають інші системи будівлі від впливу води. У більшості приватних володінь дах займає близько 40% плями забудови, а значить, за допомогою озеленої покрівлі є можливість затримати більшу частину падаючої на ділянку води і запобігти пошкодженню саду або мощених доріжок.

Поверхня неозеленої покрівлі далека від ідеальної чистоти, оскільки на ній осідає абсолютна більшість забруднювачів з атмосфери. При сильному зливі потік брудної води спрямовується вниз, накопичуючись в найнижчих точках ландшафту. «Зелені» покрівлі частково можуть нейтралізувати шкідливі викиди [4, 5].

В районі Берліна у Potsdamer Platz для зменшення забруднення річки Шпрее були масштабно використані екстенсивні «зелені» покрівлі. Ця програма продемонструвала, що екстенсивні «зелені» покрівлі можуть значно зменшувати кількість органіки, яка змивається з дахів, але, разом з тим, показала і важливість правильного вибору рослинного середовища і рослин [4]. Ринок будівництва «зелених» дахів у Польщі є відносно молодий. Тому там також існує потреба в дослідженнях, щодо можливості управління дощовими потоками завдяки «зеленим» покрівлям у національних умовах. Результати дослідження, проведеного в дослідницьких центрах у Вроцлаві, показують, що відтоки з «зелених» покрівель можна відкласти до декількох годин від початку опадів. На підставі даних, отриманих у Вроцлавському університеті екології та природокористування, встановлено, що збереження води «зеленими» дахами залежить від погодних умов. За даними польських вчених, цей процес значно покращується, коли попередня суха погода триває довше, ніж один день, а кількість опадів не перевищує 10 мм на добу [5].

Перевага «зелених» покрівель в урбоценозах не тільки в зменшенні навантаження на зливу каналізацію і фільтрації стічних вод. Очищена

дощова вода з «зелених» покрівель може збиратися в резервуари і використовуватися для технічних потреб (змивів туалетів, роботи пральних машин, садового використання, миття машин тощо) [6, 7]. У зв'язку із зростанням тарифів на водопостачання, використання дощової води стає все більш виправданим. Німці вважають, що незабаром застосування дощової води буде таким же звичайним явищем, як поділ відходів, 60% питної води можна заощадити, застосовуючи дощову воду. Ці кошти можуть бути використані на інші цілі. Але більш важливим є збереження води, найбільш цінного ресурсу. Екологічні технології німецької компанії Wilo [8] мають найкращу у світі репутацію в області застосування дощової води. Дана компанія розробила довідковий посібник з використання дощової води. У цьому посібнику наведено приклади розрахунків припливу дощової води, визначення потреб у воді, розрахунок обсягу бака для зберігання дощової води та вибір системи водопостачання. Крім того, цікавим і цінним є введення коефіцієнта стоку (c) для різних типів поверхонь покрівель, в тому числі для інтенсивних і екстенсивних «зелених» покрівель. В українському ДБН В.2.6-14-97 [9] та ДБН В.2.6-220:2017 [10] така методика відсутня.

Один із лідерів німецьких досліджень «зелених» дахів д-р Ганс-Йоахім Ліске (Dr. Hans-Joachim Liesecke), у своїй книзі «Збереження зелених дахів» (Das Retentionsvermögen von Dachbegrünungen), обговорює їхні потенційні можливості для утримання води. Сумарне випаровування грає найважливішу роль у здатності «зелених» дахів утримувати воду, і затримка води в літні місяці значно більша, ніж у зимові, тому що в літній сезон швидкість евапотранспірації набагато вище [11, 12]. Таким чином, в районах, де велика частина опадів припадає на зимові місяці, «зелені» дахи можуть бути не настільки ефективними, оскільки в зимовий період має місце менша затримка води. Отже, ефективність зростає у тих регіонах, де значна кількість опадів припадає на теплий період.

У Німеччині, де випадає приблизно 580 мм опадів на рік, сумарне випаровування становить близько 64 мм/рік з більш низькою евапотранспірацією в січні (близько 0,3 мм/місяць) і набагато більш високою швидкістю евапотранспірації в липні – 12 мм/місяць. В іншому дослідженні Ліске випробував різні ґрунти екстенсивних «зелених» дахів глибиною від 80 мм до 120 мм. Вивчалися «зелені» дахи з важкими і легкими ґрунтами, деякі з дренажними шарами, деякі без них, і кожний «зелений» дах мав ухил у 5° , за винятком одного з ухилом 0° . Дані за трирічний період спостережень з 1995 по 1997 рік показують, що кількість опадів була 918 мм, 712 мм і 827 мм в 1995, 1996 і 1997 рр. відповідно [11]. Для звичайних дахів у ці роки затримання води варіювало в діапазоні від 10% до 20%, тоді як затримка води «зеленими» дахами коливалася від 50% до 65% [11]. Це дослідження надало німецьким компаніям свого роду загальні галузеві стандарти щорічного утримання води «зеленими» дахами. Наприклад, річна затримка води для «зелених» дахів з 2° ухилом і глибиною ґрунтового шару 20–40 мм становить 40–45%, при глибині ґрунтового шару 60–80 мм становить 50–55%, а з глибиною ґрунту 100–120 мм складає 55–60% [12].

Ліске також навів результати, що показують здатність «зелених» покрівель зменшувати піковий зливовий стік з дахів. В іншому дослідженні, проведеному в Німеччині, стік зі звичайною даху, покритого гравієм, порівнювався зі стоком з екстенсивного «зеленого» даху при товщині ґрунту

40 мм. Через 15 хвилин після початку опадів стік зі звичайного даху склав 20 мм з 27 мм загальної кількості опадів і тільки 0,043 мм з «зеленого» даху [12]. У той час як зі звичайних дахів стікає 74% від загальної кількості опадів, з «зелених» дахів за той же час стікає тільки 16%. Залишок стоку з «зеленого» даху буде або збережений для використання рослинністю, або повільно покине ґрунт. Це переконливо показує можливість зниження пікового стоку за допомогою «зелених» дахів.

Німецький дослідник Шейд [13] вважає, що на швидкість стоків з тонкошарових екстенсивних «зелених» дахів впливає ухил дахів. Дахи з ухилом до 30° мають більший об'єм стоків за менший час, ніж плоскі дахи.

Дослідження утримання води «зеленими» дахами були проведені також в США, в місті Портланд (штат Орегон). Здатність «зелених» дахів утримувати воду залежить від цілого ряду чинників, таких як інтенсивність опадів, їх сезонні коливання, рівень евапотранспірації та вологості ґрунту на даху. Під час 15-місячного періоду спостережень (2002–2003 рр.), затримка води з екстенсивної «зеленої» покрівлі з глибиною ґрунту 100–120 мм склала 69% від загальної кількості опадів [14]. Протягом декількох місяців з травня 2002 року по жовтень 2002 року, понад 90% місячних опадів було затримано «зеленим» дахом, проте це були сухі місяці року з кількістю опадів менше ніж 50 мм протягом кожного місяця [14]. Значне утримання опадів спостерігалось також протягом вологих зимових місяців в Портланді. Хатчінсон та ін. [14] повідомляють про утримання приблизно 30% опадів в січні 2002 року, утримання 50% в грудні 2002 року і утримання 60% в березні 2003 року при місячній кількості опадів близько 160 мм, 108 мм і 127 мм за кожен місяць, відповідно.

Результати цього дослідження показують, що більша кількість опадів взимку може призвести до зниження затримування, а більш високі швидкості випаровування навесні можуть привести до більшого утримування. Це дослідження продемонструвало також зниження пікового стоку з «зеленого» даху на 80%. Пікова зливова витрата для обраних злив у 2002 і 2003 роках варіювала від 1,2 до 5,5 м³/с, а відповідний піковий стік варіював від 2,3 до 3,4 м³/с [10, 11].

Систематичні дослідження були проведені колективом авторів у Боготі (Колумбія) [15]. Досліджувалися стічні води з горизонтальної та похилої покрівлі з різними видами субстрату, не засаджені та засаджені різними видами рослин. Серед результатів слід відзначити зростання на 10% поглинання води при засадженні рослинами порівняно з ґрунтом без рослин, різниця у 65% між утриманням води різними субстратами та значний ефект покращення складу стічних вод.

Група канадських учених [16] виконали статистичний аналіз впливу кліматичних факторів різних регіонів земної кулі на властивість «зелених» покрівель утримувати та утилізувати дощову воду та отримали графічні та табличні дані для проектування цих конструкцій у різних країнах.

Таким чином, проаналізувавши зазначені літературні дані, ми можемо сказати, що дослідження щодо очищення та накопичення дощової води «зеленими» покрівлями мають велику актуальність у багатьох країнах світу.

Мета роботи. Дослідження впливу поверхневого стоку на навколишнє середовище та зменшення його негативного впливу за допомогою «зелених» покрівель.

Завдання роботи:

1. Провести аналіз існуючих теоретичних і практичних підходів щодо можливостей використання «зелених» покрівель для кількісного та якісного регулювання дощових стоків.
2. Провести оцінку об'єкта дослідження.
3. Здійснити пошук та удосконалення методик дослідження.
4. Зробити експериментальні розрахунки утриманого поверхневого стоку покрівлею німецького виробника та резервуару для зберігання дощової води з інтенсивної «зеленої» покрівлі.

Методика дослідження

Розрахунок утриманого поверхневого стоку покрівлею німецького виробника здійснювався за оригінальною авторською методикою [17].

Розрахунок об'єму резервуара здійснювався за удосконаленою автором методикою на базі методики Wilo, адаптованої до кліматичних умов України. Згідно з даними ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010 річна кількість опадів для даного регіону – 522 мм/рік [18]. Максимальна середньомісячна кількість опадів припадає на червень (30 днів) і становить 66 мм/міс.

Результати дослідження

Розрахунок утриманого поверхневого стоку. Зроблено розрахунок утриманого поверхневого стоку покрівлею німецького виробника. «Зелена» покрівля виробництва фірми ZinCo розташована на перехресті проспекту Лобановського і вулиці Андрія Головка (м. Київ). Площа покрівлі дорівнює 150 м². За даними виробника водоутримуюча здатність матеріалів, з яких складається «зелена» покрівля, наступна:

1. Системний субстрат – 4 л/м².
2. Вологоутримуючий захисний мат SSM-50 – 5 л/м².
3. Захисний мат SSM-45 – 4 л/м².
4. Дренажна і водонакопичувальна система Floradrain FD-40-E – 40 л/м².

Виходячи з цих даних, ми можемо порахувати загальну кількість утриманої води всіма елементами покрівлі на м², дм³/м²:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n, \quad (1)$$

де Q_1, Q_2, \dots, Q_n – кількість утриманої води елементом системи 1, 2, ..., n .

Тоді $Q_{\Sigma} = 4 + 5 + 4 + 40 = 53$ дм³/м².

Розрахунок загальної кількості утриманої води всією покрівлею, дм³:

$$Q_{\Sigma, H_2O} = Q_{\Sigma} \cdot S, \quad (2)$$

де S – площа даху, м². Тоді

$$Q_{\Sigma, H_2O} = 53 \cdot 150 = 7950 \text{ дм}^3.$$

За підрахунками на перехресті проспекту Лобановського і вулиці Андрія Головка в період інтенсивного випадіння дощу може випадати 20-30 мм опадів (30 літрів на м²). Загальна площа перехрестя 1500 м².

Розрахунок загальної кількості опадів на перехресті:

$$Q_{\Sigma,пер} = Q_{сер} \cdot S, \quad (3)$$

де $Q_{сер}$ – середня кількість опадів, мм. Тоді

$$Q_{\Sigma,пер} = 1500 \cdot 25 = 37500 \text{ дм}^3.$$

Таким чином, покрівля німецької фірми ZinCo здатна утримати 7950 дм³ дощової води і цим самим зменшити поверхневий стік, розвантаживши зливові колодязі.

Ефективність покрівлі для зменшення поверхневого стоку сягає 21,2%, що є дуже хорошим показником. Для всього проспекту Лобановського потрібно приблизно 4 об'єкти «зеленого» будівництва з площею «зеленої» покрівлі не менше 100 м² для врегулювання поверхневого стоку. Хоча це не вирішить проблему у всьому Києві, але якщо збільшувати кількість таких об'єктів «зеленого» будівництва, є шанс зовсім забути про затоплення вулиць у м. Київ.

Якісне регулювання дощових стоків «зеленими» покрівлями. Технологія «зелених» покрівель використовується для кількісного та якісного регулювання дощових стоків. Якісне регулювання дощових стоків передбачає їхню фільтрацію та вторинне використання стічних вод, завдяки чому заощаджується цінний природний ресурс – вода.

Згідно з даними ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010 річна кількість опадів для даного регіону – 522 мм/рік [18]. Максимальна середньомісячна кількість опадів припадає на червень (30 днів) і становить 66 мм/міс.

1. Розрахунок кількості опадів:

Кількість опадів на місяць на одиницю площі: $q = 66 \text{ дм}^3/\text{м}^2$;

Площа збору: $S = 150 \text{ м}^2$;

Коефіцієнт стоку $c = 0,5$ [8] (дані щодо коефіцієнта стоку різняться залежно від конструкції покрівель, кліматичних умов (впливають на випаровування) та фітоценозу [19];

Кількість днів у місяці $z_m = 30$ діб.

Максимальна місячна витрата дощової води, $\text{дм}^3/\text{міс}$:

$$Q_p = q \cdot S \cdot c. \quad (4)$$

За формулою (4)

$$Q_p = 66 \cdot 150 \cdot 0,5 = 4950 \text{ дм}^3/\text{міс}.$$

Середньодобова витрата дощової води у місяці максимальних опадів (червень), $\text{дм}^3/\text{добу}$:

$$Q = \frac{Q_p}{z_m}. \quad (5)$$

За формулою (5)

$$Q = \frac{4950}{30} = 165 \text{ дм}^3/\text{добу}.$$

2. Розрахунок потреб у дощовій воді:

на одну людину:

зливний бачок туалету без економної кнопки: 14 м³/рік [8];

пральна машина: 6 м³/рік [8];

кран для миття (прибирання): 1 м³/рік [8];

всього $q_n = 14 + 6 + 1 = 21 \text{ м}^3/\text{рік}$;

на всіх мешканців будинку ($n = 8$ осіб)

$$Q_{p, \text{потр}, l} = n \cdot q_n = 8 \cdot 21 = 168 \text{ м}^3/\text{рік};$$

на полив саду площею $S_c = 25 \text{ м}^2$ з потребою $q_c = 0,06 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$ [8]

$$Q_{p, \text{потр}, c} = S_c \cdot q_c = 25 \cdot 0,06 = 1,5 \text{ м}^3/\text{рік};$$

на полив «зеленої покрівлі» площею $S_n = 150 \text{ м}^2$ з тією ж потребою

$$Q_{p, \text{потр}, n} = S_n \cdot q_c = 150 \cdot 0,06 = 9 \text{ м}^3/\text{рік};$$

Сумарні потреби на полив:

$$Q_{p, \text{потр}, \text{пл}} = Q_{p, \text{потр}, c} + Q_{p, \text{потр}, n} = 1,5 + 9 = 10,5 \text{ м}^3/\text{рік};$$

Сумарні потреби на будинок і полив:

$$Q_{p, \text{потр}} = Q_{p, \text{потр}, l} + Q_{p, \text{потр}, \text{пл}} = 168 + 10,5 = 178,5 \text{ м}^3/\text{рік};$$

Щоденні потреби при сезоні поливу садів (орієнтовно $z_c = 243$ доби), м³/добу

$$Q_{\text{потр}} = \frac{Q_{p, \text{потр}, l}}{365} + \frac{Q_{p, \text{потр}, \text{пл}}}{z_c}. \quad (6)$$

За формулою (6)

$$Q_{\text{потр}} = \frac{168}{365} + \frac{10,5}{243} = 0,5035, \text{ м}^3/\text{добу}.$$

3. Розрахунок резервуара

Досвід показує, що об'єм резервуара для зберігання 2-3 тижневого запасу води є оптимальним. Більший обсяг призводить до погіршення якості води, менший – до більшого використання питної води. Приймаємо час накопичення води 3 тижні або $z = 21$ доба;

Потрібний об'єм резервуара за наявною дощовою водою, m^3

$$W_{номр} = \frac{Q \cdot z}{1000}. \quad (7)$$

За формулою (7)

$$W_{номр} = \frac{165 \cdot 21}{1000} = 3,47 \text{ м}^3.$$

Час споживання отриманого об'єму води становитиме

$$Z = \frac{W_{номр}}{Q_{номр}}, \text{ діб}. \quad (8)$$

За формулою (8)

$$Z = \frac{3,47}{0,5035} = 7 \text{ діб}.$$

Оскільки час споживання води відповідає рекомендованому (не більше 3 тижнів), приймаємо до установки резервуар об'ємом 4 м^3 . У разі перевищення часу споживання (3 тижні) отриманий об'єм бака зменшують (у разі швидкого споживання води залишають отриманий об'єм бака або за наявності коштів замовника збільшують його в надії на можливе перевищення норми опадів, але не більше $0,5035 \cdot 21 = 10,57 \text{ м}^3$).

Таким чином, важливими екологічними та економічними перевагами «зелених» покрівель в сучасних урбоценозах є: зменшення кількості стічних вод за рахунок випаровування і вбирання вологи рослинами; поліпшення якості стічних вод за рахунок природної фільтрації; зменшення навантаження на зливові каналізації за рахунок зниження швидкості водного потоку.

Очищена дощова вода з «зелених» покрівель може збиратися в резервуари і використовуватися для технічних потреб. Для збору дощової води з інтенсивної плоскої покрівлі площею 150 м^2 для офісного колективу з 8 осіб необхідний резервуар об'ємом 4 м^3 . При цьому сумарні потреби на будинок і полив саду становлять $178,5 \text{ м}^3/\text{рік}$, а щоденні потреби – $0,5035 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Важливими екологічними та економічними перевагами «зелених» покрівель у сучасних урбоценозах є: зменшення кількості стічних вод за рахунок випаровування і вбирання вологи рослинами; поліпшення якості стічних вод

за рахунок природної фільтрації; зменшення навантаження на зливову каналізацію за рахунок зниження швидкості водного потоку. Покрівля ZinCo здатна утримати 7950 л дощової води і цим самим зменшувати поверхневий стік, розвантаживши зливові колодязі. Ефективність покрівлі для зменшення поверхневого стоку сягає 21,2%, що є дуже хорошим показником. Очищена дощова вода з «зелених» покрівель може збиратися в резервуари і використовуватися для технічних потреб. Для збору дощової води з інтенсивної плоскої покрівлі площею 150 м² для офісного колективу з 8 осіб необхідний резервуар об'ємом 4 м³.

На карті Києва позначені 208 проблемних місць, де постійно накопичуються великі об'єми води. У подальшому планується розрахувати кількість «зелених» конструкцій для мінімізації критичної ситуації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Mora-Melià, D. Viability of Green Roofs as a Flood Mitigation Element in the Central Region of Chile. / D. Mora-Melià, C. S. López-Aburto, P. Ballesteros-Pérez, P. Muñoz-Velasco // Sustainability. – 10, 2018. – P. 1130. DOI: [10.3390/su10041130](https://doi.org/10.3390/su10041130).
2. Озеленённые крыши: 4 пути управления дождевой водой. – 21.03.2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.krovlirossia.ru/%D0%B1%D0%B5%D0%B7-%D1%80%D1%83%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B8/roof-digest/ozelenennye-kryshi-4-puti-upravleniya-dozhdevoj-vodoj>.
3. Mentens, J. Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21 st Century? / J. Mentens, D. Raes, M. Hermy // Landscape and Urban Planning. – 77 (3), 2006. – P. 217–226. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2005.02.010](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010).
4. VanWoert, N.D. Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth. / N.D. VanWoert, D.B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh, R.T. Fernandez, L. Xiao // Journal of Environmental Quality. – 34 (3), 2005. – P. 1036-1044. DOI: [10.2134](https://doi.org/10.2134).
5. Burszta-Adamiak, E. Zielone dachy jako rozwiązanie poprawiające gospodarkę wodami opadowymi w miastach. / E. Burszta-Adamiak, J. Łomotowski, P. Wiercik // Inżynieria Ekologiczna. – 39, 2014. – P. 26-32.
6. Vijayaraghavan, K. A. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. / K. A. Vijayaraghavan, U. M. Joshi, R. Balasubramanian // Water research. – 46, 2012. – P. 1337-1345.
7. Cipolla, S. S. Decentralized Water Management: Rainwater Harvesting, Greywater Reuse and Green Roofs within the GST4Water Project. / S. S. Cipolla, M. Altobelli, M. Maglionico // Proceedings. – 2, 2018. – P. 673-680. DOI: [10.3390/proceedings2110673](https://doi.org/10.3390/proceedings2110673).
8. Wilo – Использование дождевой воды – справочное пособие. – 04.2016. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://atistlab.ru/upload/doc/wilo/Brochure_rainwater_205x297_RU.pdf
9. ДБН В.2.6-14-97 Покриття будинків і споруд (з поправкою, опублікованою в журналі «Будівництво України», 2002, № 4, с. 42). – Київ, 1998. – 108 с.
10. ДБН В.2.6-220:2017 Покриття будівель і споруд. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 46 с.
11. Liesecke, H-J. Extensive Begrünung bei 5o Dachneigung. // Stadt Und Grun. – 48 (5), 1999. – P. 337-346.
12. Liesecke, H-J. Das Retentionsvermögen von Dachbegrünungen. // Stadt Und Grun. – 47 (1), 1998. – P. 46-53.
13. Schade, C. Wasserrückhaltung und Abflussbeiwerte bei dunnschichtigen Extensivbegrünungen. // Stadt Und Grun. – 49 (2), 2000. – P. 95-100.

14. Hutchinson, D. Stormwater Monitoring Two Ecoroofs in Portland, Oregon, USA. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities. Chicago / D. Hutchinson, P. Abrams, P. Retzlaff, T. Liptan. – May 29-30, 2003, Chicago, Illinois.
15. Ferrans, P. Effect of Green Roof Configuration and Hydrological Variables on Runoff Water Quantity and Quality. / P. Ferrans, C.V. Rey, G. Pérez, J. P. Rodríguez, M. Díaz-Granados // *Water*. – 10, 2018. – P. 960-977. DOI:10.3390/w10070960.
16. Akther, M. A Review of Green Roof Applications for Managing Urban Stormwater in Different Climatic Zones. / M. Akther, J. He, A. Chu, J. Huang, B. Van Duin // *Sustainability*. – 10, 2018. – P. 2864-2891. DOI:10.3390/su10082864.
17. Tkachenko, T. The reuse of rainwater drains by using «green roofs». // *USEFUL*. – 3 (1), 2019. – P. 01-05. DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-3-1-2019-0001>.
18. ДСТУ – Н Б В. 1.1 – 27:2010 Будівельна кліматологія. – Київ: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
19. Herrera, J. Using a Hydrological Model to Simulate the Performance and Estimate the Runoff Coefficient of Green Roofs in Semiarid Climates. / J. Herrera, G. Flamant, J. Gironás, S. Vera, C.A. Bonilla, W. Bustamante, F. Suárez // *Water*. – 10(2), 2018. – P. 198-214. DOI:10.3390/w10020198.

Стаття надійшла до редакції 13.05.2020 і прийнята до друку після рецензування 28.07.2020

REFERENCES

1. Mora-Melià, D., López-Aburto, C. S., Ballesteros-Pérez, P., & Muñoz-Velasco, P. (2018). Viability of Green Roofs as a Flood Mitigation Element in the Central Region of Chile. *Sustainability*, 10, 1130. DOI: [10.3390/su10041130](https://doi.org/10.3390/su10041130).
2. Ozelenennye kryshi: 4 puti upravleniya dozhdevoj vodoj [Green roofs: 4 ways to manage rainwater]. (21 March 2015). Retrieved 14 April 2020 from <http://www.krovlirossia.ru/%D0%B1%D0%B5%D0%B7-%20%D1%80%D1%83%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B8/roof-digest/ozelenennye-kryshi-4-puti-upravleniya-dozhdevoj-vodoj>. (in Russian)
3. Mentens, J., Raes, D., & Hermans, M. (2006). Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21 st Century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2005.02.010](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010).
4. VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., Fernandez, R.T., & Xiao, L. (2005). Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth. *Journal of Environmental Quality*, 34 (3), 1036-1044. DOI: [10.2134](https://doi.org/10.2134).
5. Burszta-Adamiak, E., Łomotowski, J., & Wiercik, P. (2014). Zielone dachy jako rozwiązanie poprawiające gospodarkę wodami opadowymi w miastach [Green roofs as a tool for improvement the stormwater management in urban areas]. *Inżynieria Ekologiczna*, 39, 26-32. (in Polish)
6. Vijayaraghavan, K. A., Joshi, U. M., & Balasubramanian, R. (2012). A field study to evaluate runoff quality from green roofs. *Water research*, 46, 1337-1345.
7. Cipolla, S. S., Altobelli, M., & Maglionico, M. (2018). Decentralized Water Management: Rainwater Harvesting, Greywater Reuse and Green Roofs within the GST4Water Project. *Proceedings*, 2, 673-680. DOI:10.3390/proceedings2110673.
8. Wilo – Ispolzovanie dozhdevoj vodye – spravocnoe posobie [Wilo – Using Rainwater – a reference guide]. (2016). Retrieved 14 April 2020 from https://atisslab.ru/upload/doc/wilo/Brochure_rainwater_205x297_RU.pdf. (in Russian)
9. ДБН В.2.6-14-97 Pokryttij budivel i sporud (z popravkoyu, opublikovanoyu u zhurnali “Budivnytstvo Ukrainy”, 2002, 4, p. 42) [DBN V.2.6-14-97 Covering of Buildings and Structures (as amended in the journal "Construction of Ukraine", 2002, No. 4, p. 42)]. (1998). Kyiv. (in Ukrainian)

10. DBN B.2.6-220:2017 Pokryttij budivel i sporud [DBN B.2.6-14-97 Covering of Buildings and Structures]. (2017). Kyiv. (in Ukrainian).
11. Liesecke, H-J. (1999). Extensive Begrünung bei 50 Dachneigung. *Stadt Und Grun*, 48 (5), 337-346. (in German).
12. Liesecke, H-J. (1998). Das Retentionsvermögen von Dachbegrünungen. *Stadt Und Grun*, 47 (1), 46-53. (in German).
13. Schade, C. (2000). Wasserrückhaltung und Abflussbeiwerte bei dunnschichtigen Extensivbegrünungen. *Stadt Und Grun*, 49 (2), 95-100. (in German).
14. Hutchinson, D., Abrams, P., Retzlaff, P., & Liptan, T. (2003). Stormwater Monitoring Two Ecoroofs in Portland, Oregon, USA. In *Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities*. Chicago, May 29-30, Chicago, Illinois.
15. Ferrans, P., Rey, C.V., Pérez, G., Rodríguez, J. P., & Díaz-Granados, M. (2018). Effect of Green Roof Configuration and Hydrological Variables on Runoff Water Quantity and Quality. *Water*, 10, 960-977. DOI:10.3390/w10070960.
16. Akther, M., He, J., Chu, A., Huang, J., & Van Duin, B. (2018). A Review of Green Roof Applications for Managing Urban Stormwater in Different Climatic Zones. *Sustainability*, 10, 2864-2891. DOI:10.3390/su10082864.
17. Tkachenko, T. The reuse of rainwater drains by using «green roofs». (2019). “USEFUL”, 3(1), 01-05. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-3-1-2019-0001>.
18. DSTU – N B V. 1.1- 27:2010 Budivselna klimatologija [DSTU - N B. V. 1.1 - 27: 2010 Building climatology]. (2011). Kyiv: Ukrarchbudinform. (in Ukrainian).
19. Herrera, J., Flamant, G., Gironás, J., Vera, S., Bonilla, C.A., Bustamante, W., & Suárez, F. (2018). Using a Hydrological Model to Simulate the Performance and Estimate the Runoff Coefficient of Green Roofs in Semiarid Climates. *Water*, 10(2), 198-214. DOI:10.3390/w10020198.

The article was received 13.05.2020 and was accepted after revision 28.07.2020

Ткаченко Тетяна Миколаївна

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури
Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31
ORCID: orcid.org/0000-0003-2105-5951 **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

Прокопенко Іван Олександрович

студент 2-го курсу кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури
Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31
e-mail: vanya.prokopenko.2001@gmail.com

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

УДК 532.593

Vitalii V. Khomicky, PhD, Associate professor of the Department of Hydrodynamics of Wave and Channel Flows of Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine
ORCID ID 0000-0003-0910-2233 *e-mail*: homicky@ukr.net

Borys M. Ostroverkh, PhD, Associate professor of the Department of Hydrodynamics of Wave and Channel Flows of Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine
ORCID ID 0000-0002-3373-5535 *e-mail*: ostro@ukr.net

Viktor A. Tkachenko, PhD, Associate professor of the Department of Hydrodynamics of Wave and Channel Flows of Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine
ORCID ID *e-mail*: tkachenkob@gmail.com

Vladimir A. Voskoboinick, DSci, Head of the Department of Hydrodynamics of Wave and Channel Flows of Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine
ORCID ID 0000-0003-2161-6923 *e-mail*: vlad.vsk@gmail.com

Lidiia M. Tereshchenko, PhD, Associate professor of the Hydrodynamics of Wave and Channel Flows of Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine
ORCID ID 0000-0001-6068-7092 *e-mail*: litere70@gmail.com

Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine

IMPROVEMENT OF PROTECTION DAM OF THE MARINE APPROACH CHANNEL DANUBE-BLACK SEA

***Abstract.** One of the important tasks for Ukraine is to restore navigation on the mouth of the Danube Bistre, using it as a European-Asian way from the Baltic Sea to the Black Sea, and then to the East. Restoration of the deep-sea navigation of the Danube-Black Sea River has begun about ten years ago and has been progressing with great difficulty and interruptions. A protective enclosing dam of the Maritime approach channel of the Danube-Black Sea deep-water vessel was built in the water area of the Bystre estuary of the Kiliya Delta of the Danube River. This paper presents the results of mathematical and physical modeling of the improvement and reconstruction of the protection dam of the Maritime approach channel of the Danube-Black Sea deep-sea navigation. Numerical calculations of the transformation of wind waves in the water area near the dam for the most dangerous wind directions in stormy conditions are carried out. For mathematical modeling, the maximum values of wind and wave height were used, which were observed during the entire research period in the area of the dam.*

Within the framework of refraction theory, wave transformation calculations were performed for the most wave-dangerous directions of wind acceleration, namely, northeast, east, southeast and south wind directions. The results of calculations show that the construction of a protective dam at the exit of the Bystre estuary leads to a significant reduction in wave heights (almost twice) and their lengths by more than 1.5 times, which will ensure a smooth approach and exit of vessels to the Bystre estuary. To assess the characteristics of storm surges and wind waves in the study area was set "hypothetical" storm, when uniform in space and constant in time wind blows over the entire Black Sea. Simulations of wind waves were performed by the 3-step method of nested grids. Calculations were performed for twelve options directly. The morphodynamic calculations showed the areas of circulating near bottom currents inside the dam protected area and the peculiarities of the bottom deformation due to wave motion and storm rise of sea level. Experimental studies on a fragment of the dam model revealed the areas of greatest wave loads, features of wave transformation and pressure fields on the dam ridge. On the basis of theoretical and experimental researches the new step form of the dam which withstands storm wave loads is proposed.

Key words: protective dam; wave transformation; circulation; bottom deformation; wave load

В.В. Хомицький, Б.М. Островерх, В.А. Ткаченко, В.А. Воскобійник, Л.М. Терещенко

Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСНОЇ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ ДАМБИ МОРСЬКОГО ПІДХІДНОГО КАНАЛУ ДУНАЙ-ЧОРНЕ МОРЕ

Анотація. Одним з важливих завдань для України є відновлення судноплавства по гирлу Дунаю Бистре, використовуючи його як європейсько-азійську магістраль від Балтійського моря у Чорне море, а далі в країни Сходу. Відновлення глибоководного суднового ходу р. Дунай-Чорне море було розпочато близько десяти років тому і просувалося з великими труднощами і перервами. Було збудовано захисну огорожувальну дамбу морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море в акваторії гирла Бистре Кілійської дельти р. Дунай. В роботі представлено результати математичного та фізичного моделювання щодо удосконалення та реконструкції цієї огорожувальної дамби. Проведені чисельні розрахунки трансформації вітрових хвиль в акваторії поблизу дамби для найбільш небезпечних напрямків вітру в штормових умовах. Для математичного моделювання використовувались максимальні значення вітру та висоти хвилі, які спостерігались за весь період досліджень в районі огорожувальної дамби. В рамках рефракційної теорії виконані розрахунки трансформації хвиль для найбільш хвиленебезпечних напрямків розгону вітру, а саме, північно-східного, східного, південно-східного та південного напрямків вітру. Результати розрахунків показують, що будівництво захисної огорожувальної дамби на виході з гирла Бистре призводить до значного зменшення висот хвиль (майже вдвічі) та їх довжин більше, ніж у 1,5 раза, що забезпечить безпроблемний захід і вихід суден у гирло Бистре. Для оцінки характеристик штормових нагонів і вітрового хвилювання в досліджуваному районі задавався «гіпотетичний» шторм, коли над всім Чорним морем діє однорідний по простору і постійний за часом вітер, взятий за дослідний період. Моделювання вітрового хвилювання проводилися 3-кроковим методом

вкладених сіток. Розрахунки виконувалися для дванадцяти варіантів напрямку. Морфодинамічні розрахунки показали області циркуляційних придонних течій усередині захисної дамби та особливості деформації dna під дією хвильового руху та штормових нагонів. Експериментальні дослідження на фрагменті моделі дамби виявили області найбільших хвильових навантажень, особливості трансформації хвиль та поля тиску на гребені дамби. На базі теоретичних і експериментальних досліджень запропонована нова ступенева форма дамби, яка витримує штормові хвильові навантаження.

Ключові слова: огороджувальна дамба; трансформація хвиль; циркуляція; деформація dna; хвильове навантаження

Вступ

Дунай – це найбільша міжнародна ріка Європи, яка протікає по територіях десяти держав, в тому числі і через Україну. Дунай впадає в Чорне море і представляє собою транспортну магістраль сьомого міжнародного транспортного коридору, який з'єднує Європу з Азією. Тому одне з важливих завдань для України – це відновлення судноплавства по гирлу Бистре, використовуючи його як європейсько-азійську магістраль від Балтійського моря через Рейн і Дунай у Чорне море, а далі в країни Сходу, аж до Китаю. Відновлення глибоководного суднового ходу р. Дунай-Чорне море було розпочато близько десяти років тому і просувалося з великими труднощами і перервами. Було збудовано захисну огороджувальну дамбу морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море в акваторії гирла Бистре Килійської дельти р. Дунай [1, 2].

Дамба призначена для захисту каналу від наносів під час штормів північного та північно-східного напрямку, які є найпотужнішими у цій ділянці моря, захисту від запливання укосів каналу під дією хвиль і для забезпечення безпечного входу до каналу суден з моря при сильних вітрах, які домінують в осінньо-зимовий період. Морський підхідний канал має довжину близько 3,4 км, ширину (85-100) м та глибину (7-9) м на барі гирла Бистре. Огороджувальна дамба морського підхідного каналу (рис. 1а) довжиною 2,73 км виконана з кам'яного накиду з несортованої гірської маси (рис. 1б).



Рис. 1 – Загальний вигляд огороджувальної дамби (а) та фрагмент її кам'яної насипки (б)

До будівництва регулюючої дамби глибоководного суднового ходу бар гирла Бистре відноситься до річково-морського типу з помітним впливом на його динаміку морських факторів. Характерною особливістю роботи бару тоді було його висунання в повінь та часткове руйнування висунутої частини бару в межінь. Після будівництва дамби зміни барової ділянки гирла відбувалися в межах огороженої території, а також по периметру дамби та коси Пташина. Внаслідок будівництва дамби на замулення гирла переважно впливає річковий стік, який розвантажується в акваторії моря через проріз гирла. Під час набігання на захисну дамбу вітрові хвилі гасяться, тяглі наноси осідають на навітряному борту дамби, а зважені розподіляються рівномірно по перетину акваторії усередині дамби. Максимальна кількість наносів переміщується в забаровій частині. Дія штормів фронтальних до осі підхідного каналу (схід, північний-схід, південний-схід) призводить до збільшення швидкості течії в каналі та утворення тут промивного струменю, який простежується до гирла каналу. Також продовжується обміління підводної частини Пташиної коси біля каналу, а за Пташиною косою утворилася нова барова структура, що висувається за межі захисної дамби в бік моря.

Захисна дамба природним чином входить в структуру “лівого берега”, основні зони акумуляції наносів на “річищі” переміщуються до входу в підхідний канал. За наявності затоплення верхніх брівок, що відповідає виходу потоку на заплаву, виникають умови для розвинення меандрування річища, а утворена морська частина коси пересувається на ділянку перед Пташиною косою та на барову частину за косою. Спостерігається, таким чином, утворення нової морської коси та перемички, куди надходять наноси з правобережної ділянки каналу і тут відбувається їх акумуляція.

В 2014 році на акваторії Чорного моря в районі огорожувальної дамби за складних гідрометеорологічних умов, які визначались посиленням штормового вітру; підвищенням вітрового нагону та посуванням льодових полів, виникла серія жорстких штормів, які призвели до часткової деформації окремих ділянок надводної частини огорожувальної дамби (гребеня огорожувальної дамби). З морської сторони дамби площа розмиву лівої вздовж берегової коси гирла Бистре за 2013-2014 рр. становила майже 2 га. Також продовжилося явище розмиву берега о. Піщаний в місті примикання дамби та розмив північного фасаду дамби в районі її корінної частини. Такі деформації з'явилися на морському боці дамби та ділянці корінного берега внаслідок суттєвих швидкостей вздовж берегового потоку за дефіциту витрат наносів. Зони розмиву продовжували залишатися на всій морській частині досліджуваної ділянки, що призвело до поглиблення дна аж до 10-метрової відмітки біля оголовку дамби [2].

Серед факторів руйнування деяких ділянок огорожувальної дамби визначено спільну дію вітрових хвиль, утворення крижано-камінних мас на гребені та укосах та насунання крижаних полів з дією згінно-нагінних явищ в зимово-весняний період. В результаті дії таких навантажень відбулося оповзання кам'яної насипки та з'явилася більша пологість укосів, а також переміщення окремих каменів фракції 900 мм, які були закинуті хвилями на гребінь огорожувальної дамби. Матеріал облицювання із каменю фракцій 900 мм та 1200 мм на деяких ділянках змістився до підніжжя укосу огорожувальної дамби або скотився на поверхню берми, розкриваючи, таким чином, ядро споруди. Матеріал ядра під впливом хвильових та льодових

навантажень було переміщено на поверхню гребеня або на берму споруди. В цілому деформації дамби не призвели до суттєвих наскрізних руйнувань і вона відповідає, з незначними змінами, проектному профілю, але потребує додаткової реконструкції та удосконалень [2, 3].

Мета роботи – на основі математичного та фізичного моделювання розробити рекомендації щодо удосконалення та реконструкції захисної огорожувальної дамби морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море в акваторії гирла Бистре Килійської дельти р. Дунай.

Математичні моделі та експериментальний стенд

Математичне моделювання хвильового навантаження на захисну огорожувальну дамбу морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море та морфодинамічних процесів в акваторії гирла Бистре Килійської дельти р. Дунай було виконано за допомогою рефракційної та спектральної моделі SWAN, а також моделі XBeach.

Трансформація вітрових хвиль над природним або штучним рельєфом морського дна в повній нелінійній постановці є надзвичайно складною проблемою. Тому для вирішення завдань, пов'язаних з літодинамічними процесами, стійкістю і ефективною роботою берегозахисних споруд, зазвичай використовують теорію рефракції [4, 5]. Перевагою такого підходу є зведення завдання про розповсюдження хвиль в рідині змінної глибини до системи п'яти звичайних диференціальних рівнянь, що значно знижує об'єм обчислень, необхідних для її вирішення, і дозволяє за допомогою сучасних комп'ютерів порахувати трансформацію хвиль в акваторіях, розміри яких на декілька порядків перевищують довжину хвилі. Під час розрахунку рефракції хвиль, що наближаються до берега, припускається, що відбиття хвиль не відбувається і ухил донної поверхні такий слабкий, що хвилі ведуть себе як плоскі періодичні хвилі на воді постійної глибини. У найпростішому випадку сталих періодичних хвиль, що набігають на берег, зміна амплітуди виходить з умови постійності потоку хвильової дії, який еквівалентний постійному потоку енергії у відсутності течій, тобто виконуються умови збереження енергії вздовж променя трансформації хвиль від найбільш хвиленебезпечних напрямів розгону вітру. Алгоритм розрахунку напрямку променя та коефіцієнта розділення променів побудований на розв'язанні задачі з урахуванням початкових умов методом Рунге-Куты з подальшим визначенням висот хвиль вздовж променя [4, 6].

Модель SWAN – це модель генерації хвиль третього покоління для отримання оцінок параметрів хвиль у прибережних районах, озерах та лиманах від заданих параметрів вітру, дна та течій [7]. Однак модель SWAN можна використовувати в будь-якому масштабі, що стосується поверхневих гравітаційних хвиль. Модель базується на рівнянні балансу хвильової дії (або енергетичному балансі за відсутності течій) з джерелами та стоками.

Основна мета моделі SWAN – вирішити рівняння балансу спектральної дії без будь-яких апріорних обмежень на спектр для еволюції росту хвиль. В цій моделі рівняння описують ефекти просторового розповсюдження, рефракції, масштабування, генерації, дисипації та нелінійної взаємодії хвиль з хвилями та дном водойми. Основна наукова ідея моделі SWAN ідентична моделі WAM третьої версії [8]. SWAN представляє собою хвильову модель третього

покоління, і вона використовує ті самі формулювання для похідних термінів. Тоді як модель WAM розглядає проблеми океанічних масштабів, у моделі SWAN розповсюдження хвиль розраховується від глибокої води до зони прибою. Модель SWAN використовує неявні схеми, які є більш надійними та економічними на мілководді, ніж явні. На основі рівняння балансу хвильової дії з джерелами та стоками модель мілкої води SWAN (Acronym for Simulating WAves Nearshore) є розширенням глибоководних хвильових моделей. Вона включає сучасні формулювання для процесів генерування, дисипації та взаємодії хвиль на глибокій воді, які присутні у моделі WAM [8]. На мілководді ці процеси були доповнені найсучаснішими формулюваннями для дисипації енергії за рахунок тертя води з дном, взаємодії хвильового руху і придонної течії та намивів і розмивів ґрунту. Модель SWAN є повністю спектральною (у всіх просторових напрямках та частотах) і обчислює еволюцію вітрових хвиль у прибережних регіонах на мілкій воді та з зовнішніми течіями. На мілководді орбітальні рухи води, викликані поверхневими хвилями, поширюються до морського дна. Це породжує взаємодію між поверхневими хвилями та дном. Існують різні механізми взаємодії хвиль з дном та їх відносних сил. Серед них можна виокремити механізми розсіювання енергії на нерівностях дна, рух донного ґрунту, проникнення рідини в пористе дно і тертя в турбулентному прилежовому шарі. Перший процес призводить до локального перерозподілу хвильової енергії через розсіювання хвильових компонентів. Останні три процеси є дисипативними. Їх інтенсивність залежить від умов дна. Для континентальних шельфових морів із піщаним дном домінуючим механізмом є тертя води з ґрунтом дна.

Відомо [9], що на морфодинамічні процеси в береговій зоні моря основний вплив роблять вітрові хвилі і викликані ними хвильові течії. Напрямок поширення хвиль і їх інтенсивність визначаються вітровою дією, а також особливостями берегової лінії і дна. Крім цього, на трансформацію хвиль поблизу берега впливають локальні гідродинамічні процеси, такі як коливання підйому та спаду води, які можуть призводити до істотного збільшення динамічної глибини [10]. Модель XBeach (eXtreme Beach behavior) включає в себе взаємодіючі блоки з розрахунку коротких вітрових хвиль, баротропних течій і динаміки наносів. Короткі хвилі в моделі описуються нестационарним рівнянням балансу хвильової енергії в спектральній формі [11]. Для опису передачі енергії від обвалених хвиль до бурунів використовується рівняння балансу енергії бурунів [12]. При цьому враховується кутовий розподіл хвильового спектру і використовується одна пікова частота, що відповідає припущенню про вузькосмуговість спектру в частотній області. У моделі XBeach для різницевої апроксимації рівнянь використовується прямокутна рознесена сітка. Глибина, рівень, концентрація наносів, енергія хвиль і бурунів визначаються в центрах комірок, а компоненти швидкості течій та потоки наносів визначаються посередині бічних меж комірок. Інтегрування здійснюється на основі явної схеми з автоматичним вибором часового кроку. В різницевій схемі, яку застосовують в моделі XBeach, реалізований алгоритм осушення – затоплення [11]. Слід зазначити, що ефекти, які обумовлені зміною величини нагонів, чинять значно більший вплив на морфодинамічні процеси, ніж зміна в однаковому відносному співвідношенні висоти хвиль [13].

Аналогічні висновки отримані в роботі [14], в якій виконані чисельні експерименти з дослідження чутливості моделі XBeach до вхідних параметрів.

Експериментальні дослідження по фізичному моделюванню проводились у хвильовому басейні на полігоні та у хвильовому лотку в лабораторії Інституту гідромеханіки НАНУ [15, 16]. На полігоні хвильовий басейн в плані представляв собою прямокутник зі сторонами 67×43 м і висотою огорожувальних стінок 2 м, глибина наповнення басейну водою складала 0,9 м. Довжина хвильового лотка складала 30 м, ширина – 0,35 м, глибина – 0,87 м. Басейн і лоток обладнані щитовими хвилеутворювачами, які породжували хвилі регульованої та контрольованої висоти від 0,02 м до 0,4 м та періоду від 0,5 с до 2 с. Крім того, в басейні та лотку знаходились відповідні засоби реєстрації та контролю параметрів хвиль, швидкостей течії, хвильових тисків та навантажень, системи візуалізації дослідів. Вони обладнані приладами обробки та аналізу експериментальних результатів, відео- і фотоапаратурою та допоміжними засобами. Дослідження виконувались за умови дії монохроматичних регулярних хвиль, які при підході до споруди зазнавали розбиття на споруді. Під час моделювання хвильового руху рідини дотримувалися умови автотельності по числу Рейнольдса та Фруда [17–19], а самі моделі були зроблені у масштабі.

Результати дослідження

Згідно з розробленою програмою та методикою досліджень проводилося чисельне та фізичне моделювання хвильового поля в околі захисної огорожувальної дамби морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море, хвильових навантажень на дамбу та морфодинамічних процесів в акваторії гирла Бистре Килійської дельти р. Дунай. Для математичного моделювання використовувались максимальні значення вітру та висоти хвилі, які спостерігались за весь період досліджень в районі огорожувальної дамби. Розглянемо завдання рефракції гармонійних хвиль, що приходять з глибокої води в мілководу прибережну зону, яка характеризується змінною глибиною. Вирішення такого роду завдань на основі рівнянь теорії хвиль в рідині кінцевої глибини навіть в наближенні теорії мілкої води представляє істотні труднощі, тому виходитимемо із спрощеного підходу, заснованого на променевому методі. Рівняння променевого методу засновані на принципі Ферма, згідно з яким промінь розповсюдження хвиль проходить шлях за мінімальний час.

Результати розрахунків та космічний знімок місця розташування дамби наведені на рис. 2, де показані глибини суднового ходу гирла Бистре на виході з захисної огорожувальної дамби (рис. 2а) та ізобати глибин в околі дамби разом з віссю ОУ, яку направлено вздовж осі морського підхідного каналу ($x = 1933,8$ м), азимут якої дорівнює 126° (рис. 2б). В результаті будівництва захисної огорожувальної дамби морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море та днопоглиблювальних робіт глибина суднового ходу буде складати від 7 м до 10 м, що забезпечить прохід великотоннажних суден для перевезення експортно-імпорتنих і транзитних вантажів і з'єднає транспортні магістралі Європи та Азії.

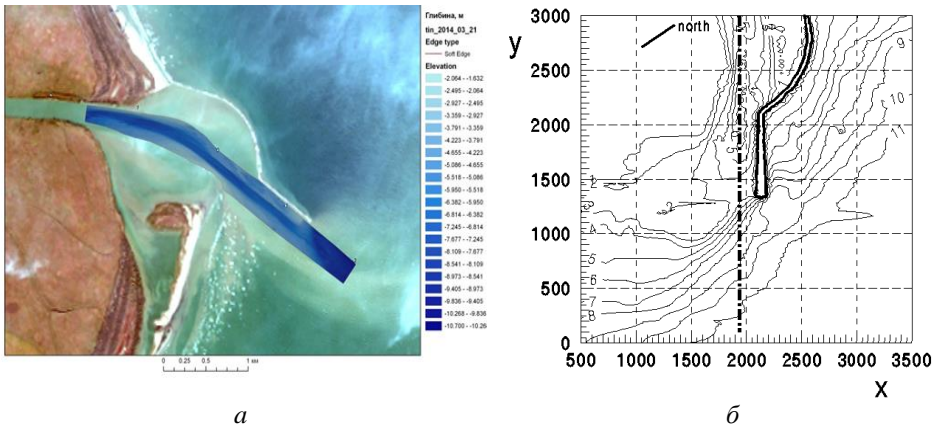


Рис. 2 – Глибини суднового ходу (а) та ізобати глибин (б) в околі захисної огорожувальної дамби

В рамках рефракційної теорії виконані розрахунки трансформації хвиль для найбільш хвиленебезпечних напрямків розгону вітру, а саме, північно-східного (ПнСх), східного (Сх), південно-східного (ПдСх) та південного (Пд) напрямків вітру. В розрахунках трансформації хвиль на підходах до гирла Бистре, де глибина складала 11 м, були використані параметри хвиль, які наведені в Таблиці 1. Для розрахунків використовувався максимальний розрахунковий вітер по всіх напрямках за весь період досліджень, згідно з даними, представленими у роботах [6, 20].

Таблиця 1 – Параметри хвиль від хвиленебезпечних напрямків вітру

Параметри хвиль					
Румб	d(м)	Азимут(грд.)	V_w (м/с)	h2%(м)	λ (м)
ПнСх	11	46,68	26	4,61	52,23
Сх	11	89,70	22	6,26	70,14
ПдСх	11	130,76	21	7,74	90,70
Пд	11	168,57	21	7,12	86,46

Дані, наведені в Табл. 1, показують, що найбільше небезпечним напрямком вітрових хвиль на захисну огорожувальну дамбу є північно-східний напрямок. Тому подальші розрахунки були проведені саме для цього напрямку хвиль.

На рис. 3 представлені розрахункові параметри хвильового поля у відповідності до рефракційної теорії в досліджуваній ділянці моря поблизу захисної огорожувальної дамби морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море в акваторії гирла Бистре Килійської дельти р. Дунай. Променева картина трансформації хвиль від найбільш хвиленебезпечних напрямів розгону вітру представлена на рис. 3а. Тут товсті суцільні лінії показують промені трансформації хвиль, тонкі суцільні лінії – це ізолінії глибин моря, товсті крапки на променях – це початок першого обвалення вітрової хвилі, а штрих-пунктирна лінія – це вісь морського підхідного каналу. На рис. 3б та на рис. 3в тонкими суцільними лініями позначені висоти та довжини трансформованих вітрових хвиль, відповідно, а штрих-пунктирна лінія – це вісь морського підхідного каналу. Результати розрахунків показують, що будівництво захисної огорожувальної дамби на

виході з гирла Бистре призводить до значного зменшення висот хвиль (майже вдвічі) та їх довжин більше, ніж у 1,5 раза, що забезпечить безпроблемний захід і вихід суден у гирло Бистре.

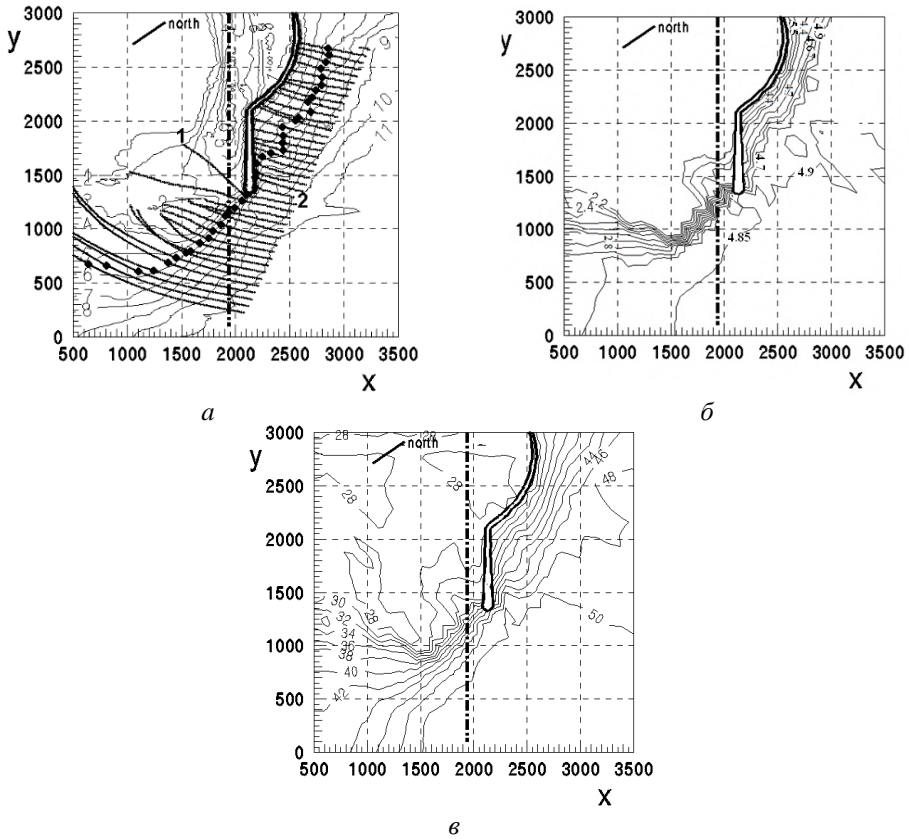


Рис. 3 – Променева картина (а), висоти (б) та довжини (в) трансформованих хвиль

Для оцінки характеристик штормових нагонів і вітрового хвилювання в досліджуваному районі задавався «гіпотетичний» шторм, коли над всім Чорним морем діє однорідний по простору і постійний за часом вітер, взятий за дослідний період. Моделювання вітрового хвилювання проводилися 3-кроковим методом вкладених сіток. Роздільна здатність хвильової моделі по кутовій координаті складала 5° , частотний інтервал дорівнював (0,04–2) Гц. Донні тертя визначалися методом Гранта-Мадсена [21] з постійним параметром еквівалентної шорсткості, рівним 0,01 м. Під час моделювання полів вітрових хвиль проводився параметричний розрахунок дифракції хвиль на захисній дамбі [7], а для розрахунку штормового нагону глибина моря в статистичній моделі SWAN задавалася у вигляді: $H = h + \eta$, де h – рельєф дна; η – рівень моря з тривимірної моделі циркуляції води у прибережній зоні океану [22].

Розрахунки виконувалися для дванадцяти варіантів напрямку і швидкості вітру, і розрахункові модельні значення рівня моря в найближчому до гирла Бистре вузлі розрахункової сітки (45.34° пн.ш., 29.78° сх.д.) представлені у Табл. 2.

Таблиця 2 – Модельний рівень моря для різних напрямків і різної швидкості вітру

Швидкість вітру, м/с	Модельний рівень моря, м			
	Південь	Південний схід	Схід	Північний схід
8	0,03	0,10	0,13	0,08
13	0,06	0,33	0,39	0,25
26	0,32	1,48	1,67	1,33

Результати розрахунків, які наведено в Табл. 2, показують, що максимальний штормовий нагін в досліджуваному районі відбувається під час дії східного вітру, але північно-східний вітер також призводить до достатньо високого рівня нагону поблизу захисної дамби.

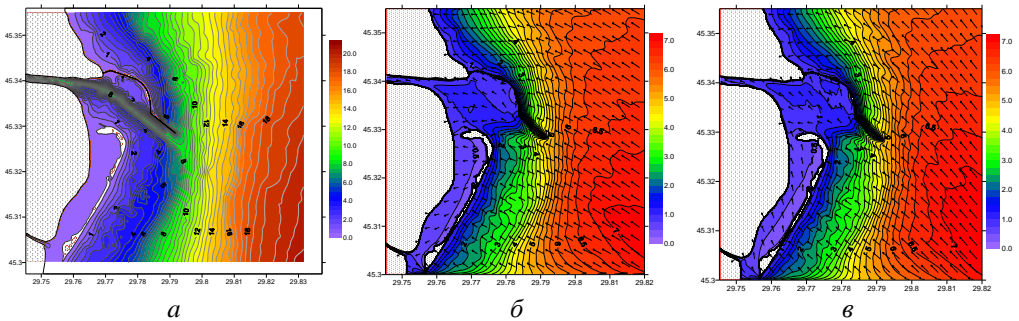


Рис. 4 – Рельєф дна (а) та висоти хвиль 2%-ї забезпеченості і середній напрямок хвилювання для $V_w = 26$ м/с і північного (б), південно-східного (в) напрямку вітру

Результати чисельного моделювання за допомогою статистичної моделі SWAN показані на рис. 4. Тут показані рельєф і глибини дна поблизу захисної огорожувальної дамби (рис. 4а) та висоти хвиль 2%-ї забезпеченості і середній напрямок хвилювання в районі гирла Бистре з урахуванням штормового нагону для швидкості вітру 26 м/с і його східного (рис. 4б) та південно-східного (рис. 4в) напрямків. В розрахунках врахований модельний рівень моря, який обумовлений нагоном штормових хвиль, тому наведені результати чисельного моделювання для найбільшої швидкості вітру та найбільших висот нагону, що показані в Табл. 2. Для найбільше небезпечного напрямку хвилювання моря висоти хвиль 2%-ї забезпеченості будуть нижче представлені для різних швидкостей вітру.

На рис. 5 наведені результати розрахунків висот хвиль 2%-ї забезпеченості і середній напрямок хвилювання в районі гирла Бистре з урахуванням штормового нагону для південно-східного напрямку вітру і різних швидкостей вітру.

Результати досліджень показують, що зі збільшенням швидкості вітру, який має північно-східний напрямок, висоти гравітаційних хвиль з урахуванням штормового нагону збільшуються.

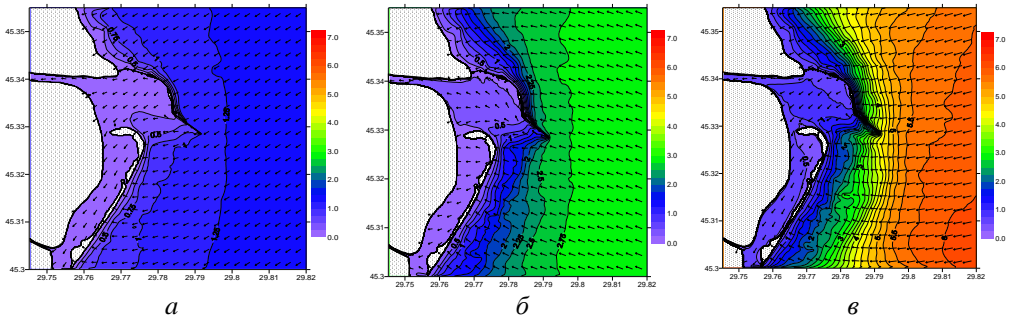


Рис. 5 – Висота хвиль 2%-ї забезпеченості і середній напрямок хвилювання в районі гирла Бистре з урахуванням штормового нагону для швидкості вітру: 8 м/с (а); 13 м/с (б) та 26 м/с (в)

Згідно з розробленою програмою та методикою досліджень моделювання гідроморфодинаміки проводилося за допомогою моделі XBeach. Це дозволило змоделювати поле хвильового руху, придонні та поверхневі течії, переніс наносів і зміни рельєфу дна з урахуванням процесів осушення і затоплення. Як відомо, основний внесок до гідроморфодинаміки прибережної зони вносять індуковані вітровим хвилюванням течії та дисипації енергії хвиль, що виникають в результаті їх розповсюдження до берега. Хвильові течії мають вигляд сумарного дрейфу на тлі орбітальних рухів частинок води. На рис. 6 наведені розрахункові схеми прибережних течій та поля деформацій дна в районі гирла Бистре, індуковані штормовим хвилюванням. Наведені схеми відображають середню по глибині і усереднену за часом циркуляцію вод та поле придонних швидкостей в досліджуваному районі, а також деформації донної поверхні з урахуванням штормового нагону.

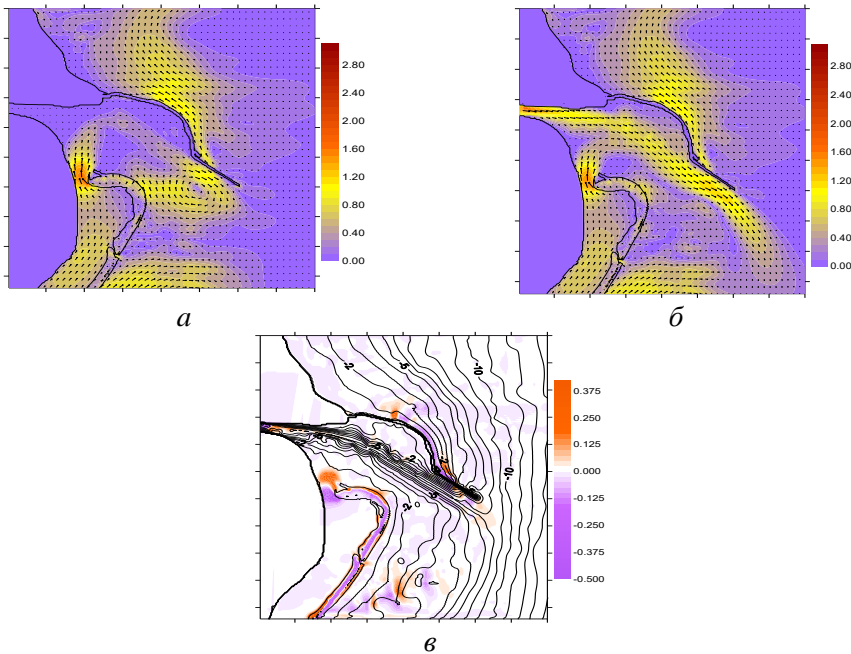


Рис. 6 – Поле швидкостей придонних течій для витрат $Q = 500 \text{ m}^3/\text{с}$ (а) і $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{с}$ (б) та поле деформацій дна для $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{с}$ (в) в районі гирла Бистре з урахуванням штормового нагону

Загальною особливістю придонного руху води є наявність струменевих течій з швидкостями близькими до (1-2) м/с. Особливо інтенсивні течії (рис. 6а) спостерігаються в протоці між берегом і північною ділянкою коси Пташиної. При цьому урахування штормового нагону не приводить до помітного ослаблення цієї течії. Якщо в умовах межени ($Q \leq 500 \text{ м}^3/\text{с}$) вплив річкових вод на циркуляцію усередині огорожувальної дамби практично не позначається, то при витраті в гирлі ($Q > 500 \text{ м}^3/\text{с}$), яка формує русло, відбувається повне зникнення циркуляції (рис. 6б).

Згідно з результатами, які представлено на рис. 6в, деформаціями дна є зони акумуляції і розмиву, що чергуються. Найбільше істотні деформації відбуваються в протоці між північною ділянкою коси Пташиною і материком. При цьому і сама коса схильна до помітних деформацій на всьому своєму контурі. З внутрішньої сторони захисної дамби і на осі каналу деформації дна незначні. Проведені розрахунки показали, що врахування штормового нагону підвищує адекватність моделювання морфодинаміки досліджуваного району. Так, якщо штормовий нагін не враховується, то деформацій коси Пташиної не відбувається. Внесок річкового стоку у формування деформацій дна помітний лише при витраті гирла Бистре близько $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ і більше.

Експериментальні дослідження з фізичного моделювання взаємодії моделей штормових хвиль від північно-східного напрямку з моделлю фрагмента захисної огорожувальної дамби у масштабі 1:50 проводились у хвильовому лотку. Запропоновано удосконалити форму захисної дамби й збудувати її у вигляді ступінчастої конструкції.

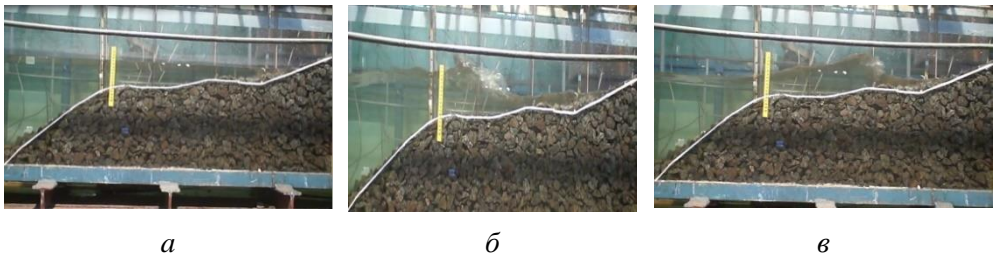


Рис. 7 – Модель фрагмента огорожувальної дамби перед дослідями (а), обвалення хвилі на нижній бермі (б) та на верхній бермі (в)

На рис. 7 представлені фотографії хвильового руху над фрагментом моделі дамби. На рис. 7а представлено вид профілю дамби з двома бермами і трьома різними укосами, які запропоновано в якості реконструкції існуючого профілю дамби у вигляді одного укосу постійного кута нахилу. Основна ідея реконструкції полягає в утворенні штучного підводного хвилелому, який застосовується для гасіння хвиль і перешкоджає переносу наносів, що підходять до берегової лінії [5, 23, 24]. На рис. 7б показано обвалення хвилі на першій бермі дамби, а на рис. 7в показано обвалення хвилі на другій бермі та накопчування буруна на верхню частину моделі захисної дамби. Таким чином, застосування укосів і ступінчастих берм дозволяє суттєво розрушити набігаючу хвилю, зменшити її висоту та інтенсивність при підході до головної частини захисної дамби.

На рис. 8 показані осцилограми хвильового руху в процесі підходу моделі штормової хвилі до фрагмента моделі ступінчастої захисної огорожувальної

дамби. Перед нижньою або першою з напрямку моря бермою форма хвилі несуттєво відрізняється від синусоїдальної форми, яку генерує хвилепродуктор (рис. 8а). З переміщенням хвилі до кінця нижньої берми форма хвилі змінилася, а особливо зменшилася її висота – більше ніж у 3 рази (рис. 8б). З підходом хвилі до другої берми форма хвилі ще дужче змінилася через її обрушення на бермах, а також зменшилася висота порушеної хвилі, вона в 4 рази стала меншою, ніж висота штормової хвилі на глибокій воді. Осцилограма порушених хвиль отримала високочастотні складові, які обумовлені трансформацією початкової хвилі на ступінчатій конструкції дамби.

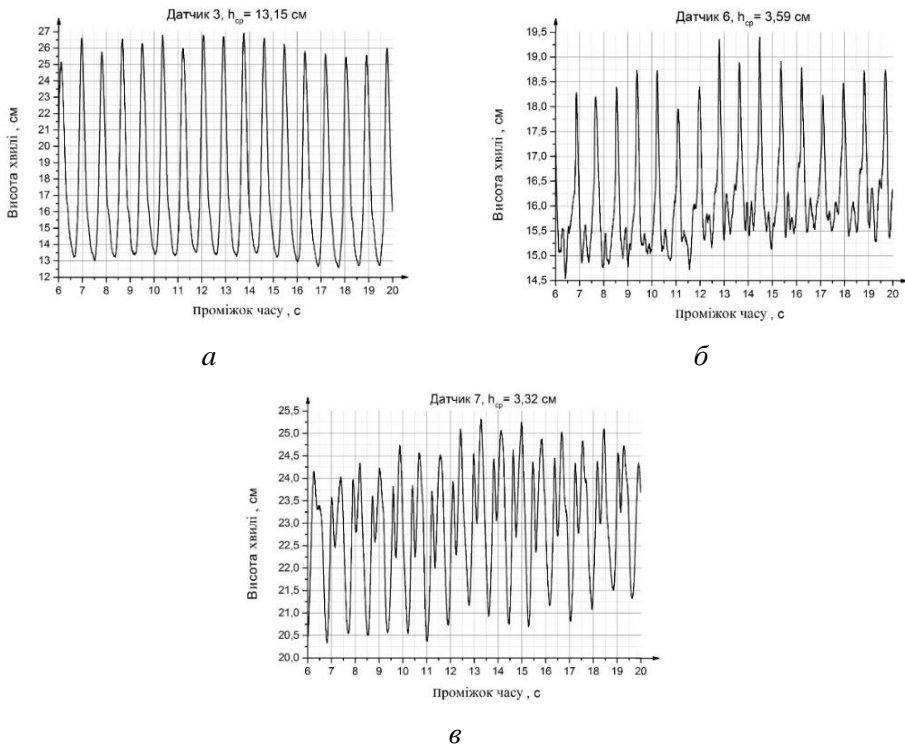


Рис. 8 – Форма хвилі перед нижньою бермою (а), перед верхньою бермою (б) та в кінці верхньої берми (в) моделі огорожувальної дамби

Для виявлення хвильового навантаження штормових хвиль на верхню частину дамби було використано дослідження поля тиску за допомогою мініатюрних п'єзокерамічних датчиків пульсацій тиску [25, 26], які було розташовано в кінці верхньої берми на початку верхнього укусу дамби, на середині укусу і на верхній частині укусу, куди накочувалися моделі штормових хвиль. Ці датчики мали високу просторову і частотну роздільну здатність та реєстрували як великомасштабні, так і дрібномасштабні (до $3 \cdot 10^{-3}$ м) довжини хвиль джерел пульсацій тиску [27-29]. Одночасна реєстрація пульсацій тиску групою датчиків та обробка і аналіз результатів дослідження з використанням апарату теорії ймовірностей та математичної статистики дозволили визначити просторово-часові характеристики поля пульсацій тиску та джерел, які його генерують. Кореляційний та спектральний аналіз дозволили визначити

масштаби вихрових і хвильових структур, їх частотні параметри, швидкість та напрямок переносу джерел пульсацій тиску [29, 30].

На рис. 9 представлені залежності пульсацій тиску у часі, які генерувалися хвильовим рухом, на обтічній поверхні верхньої частини моделі захисної дамби. На початку верхнього укосу дамби синусоїдальна форма хвилі отримала зміни в області її гребеня та підшови (рис. 9а). З наближенням до середньої частини верхнього укосу дамби ці зміни збільшилися і збільшилася висота порушених хвиль. На самій верхівці дамби спостерігається ударна дія хвилі на дамбу з високодобротними тональними складовими. В цьому місці дамби ударна хвиля, маючи значну інтенсивність, діє на дамбу тільки частиною свого гребеня. Підшови хвилі не досягає цього місця вимірювань, що відображено на формі пульсацій тиску на рис. 9в.

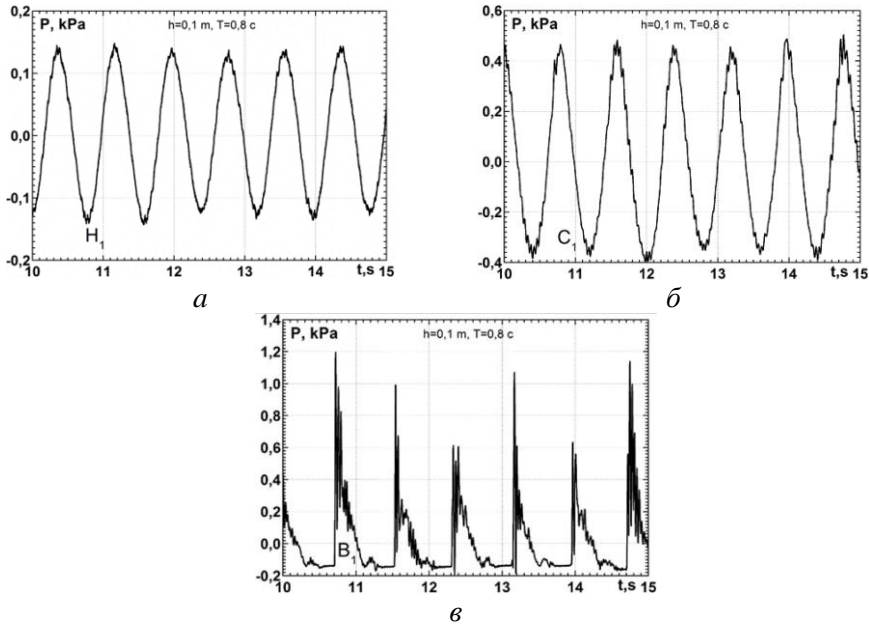


Рис. 9 – Хвильовий тиск на нижню частину (а), на середню частину (б) та на верхню частину (в) моделі верхнього укосу огорожувальної дамби

Частотний склад поля пульсацій тиску та джерел, які його генерують, представлено на рис. 10. Тут представлені спектральні густини потужності пульсацій тиску в нижній, середній та верхній частинах верхівки моделі ступінчастої захисної дамби. Треба зауважити, що на всіх досліджених спектрах присутня основна гармоніка коливального хвильового руху на частоті $f = 1,25$ Гц, що відповідає періоду генерованої хвилепродуктором хвилі. Також в спектрах присутні гармоніки вищих порядків основної частоти. Але з наближенням до верхівки дамби в спектрах починають з'являтися значні рівні пульсацій тиску на високих частотах (див., рис. 10б та рис. 10в). Це відповідає тому, що доходячи до гребеня дамби, штормова хвиля розбивається і утворюються буруни та дрібномасштабні хвильові компоненти. Хвильова енергія штормових хвиль перетворюється з інтенсивної низькочастотної складової у високочастотні складові, а сама хвиля трансформується у дрібномасштабні водяні маси, які діють на гребінь захисної огорожувальної дамби.

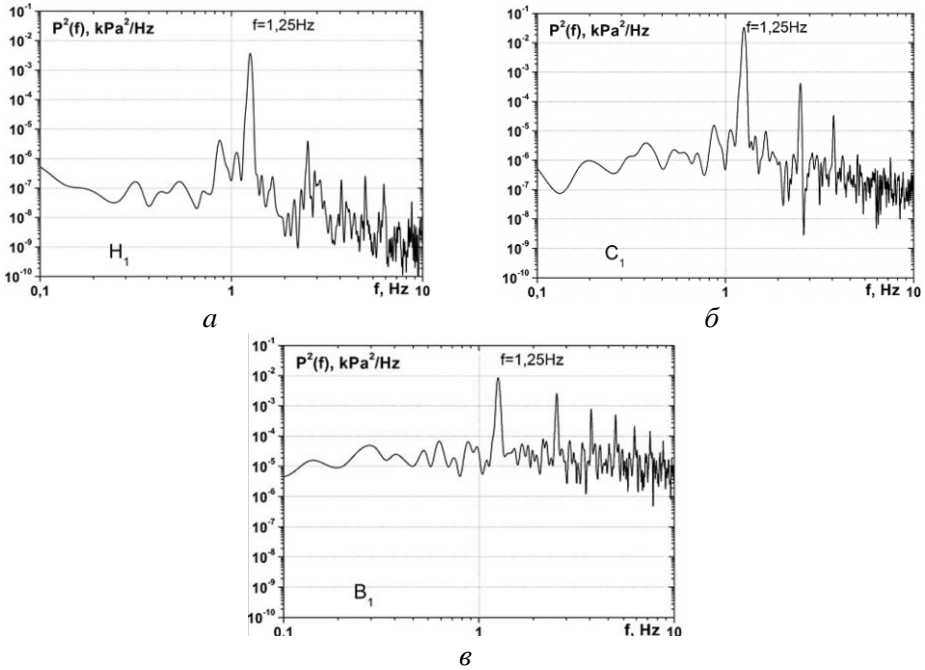


Рис. 10 – Спектральні густини потужності пульсацій тиску на нижню частину (а), на середню частину (б) та на верхню частину (в) моделі верхнього укусу огорожувальної дамби

Таким чином, теоретичні та експериментальні дослідження показали, що оптимальній конструкції захисної огорожувальної дамби морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море в акваторії гирла Бистре Килійської дельти р. Дунай відповідає ступінчаста дамба. Найменші хвильові навантаження ця дамба має за таких характеристик укусів і берм: нижній укіс повинен мати кут нахилу 1:1,5; нижня горизонтальна берма повинна мати довжину близько 10 м у натурі; середній укіс дамби повинен мати кут нахилу 1:5; нижня горизонтальна берма повинна мати довжину також близько 10 м у натурі, а верхній укіс дамби повинен мати кут нахилу 1:(3-3,5). При цьому верхня частина дамби повинна бути покрита кам'яною накидкою з фракцією каміння 1,2 м.

Висновки

Результати чисельного та фізичного моделювання щодо розробки рекомендацій з удосконалення та реконструкції захисної огорожувальної дамби морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море в акваторії гирла Бистре Килійської дельти р. Дунай показали, що:

1. Найбільш небезпечним напрямком вітрових хвиль на захисну огорожувальну дамбу є північно-східний напрямок. На базі рефракційної теорії результати розрахунків показали, що будівництво захисної огорожувальної дамби на виході з гирла Бистре призводить до значного зменшення висот хвиль (майже вдвічі) та їх довжин більше, ніж у 1,5 раза, що забезпечить безпроблемний захід і вихід суден у гирло Бистре.

2. Розрахунки за спектральною моделлю SWAN, яка використовується для обчислення еволюції вітрових хвиль у прибережних регіонах на мілкій воді, показали, що захисна огорожувальна дамба, яка відповідає проектним показникам, витримає навантаження хвильового поля з параметрами висот хвиль 2%-ї забезпеченості з урахуванням штормового нагону для всіх напрямків вітру, в тому числі і південно-східного напрямку, а також різних швидкостей вітру, які притаманні цій зоні Чорного моря.

3. Морфодинамічні розрахунки за допомогою моделі XBeach показали, що загальною особливістю придонного руху води в районі гирла Бистре є наявність струменевих течій з швидкостями, близькими до (1-2) м/с. Особливо інтенсивні течії спостерігаються в протоці між берегом і північною ділянкою коси Пташиної. При цьому урахування штормового нагону не приводить до помітного ослаблення цієї течії. Якщо в умовах межені ($Q \leq 500 \text{ м}^3/\text{с}$) вплив річкових вод на циркуляцію усередині огорожувальної дамби практично не позначається, то при витраті в гирлі ($Q > 500 \text{ м}^3/\text{с}$), яка формує русло, відбувається повне зникнення циркуляції.

4. Установлено, що найбільше істотні деформації дна відбуваються в протоці між північною ділянкою коси Пташиною і материком. При цьому і сама коса схильна до помітних деформацій на всьому своєму контурі. З внутрішньої сторони захисної дамби і на осі каналу деформації дна незначні. Якщо штормовий нагін не враховується, то деформації коси Пташиної не відбувається. Внесок річкового стоку у формування деформацій дна помітний лише при витраті гирла Бистре близько $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ і більше.

5. Результати фізичного моделювання показали, що хвильове поле поблизу захисної огорожувальної дамби має суттєво неоднорідний і випадковий характер з детермінованими складовими. Визначено особливості трансформації штормових хвиль на підході до дамби та виявлено вплив форми дамби на параметри хвильового поля. Виявлено просторово-часові характеристики хвильового тиску на конструкцію дамби та показані джерела поля пульсацій тиску на поверхні верхньої частини дамби. Проведені експериментальні дослідження з визначення ефективної конструкції захисної дамби, яка має мінімальні навантаження від дії максимальних штормових хвиль, які притаманні морській акваторії експлуатації дамби.

6. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що оптимальній конструкції захисної огорожувальної дамби морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море в акваторії гирла Бистре Килійської дельти р. Дунай відповідає ступінчаста дамба. Найменші хвильові навантаження ця дамба має за таких характеристик укосів і берм: нижній укіс повинен мати кут нахилу 1:1,5; нижня горизонтальна берма повинна мати довжину близько 10 м у натурі; середній укіс дамби повинен мати кут нахилу 1:5; верхня горизонтальна берма повинна мати довжину також близько 10 м у натурі, а верхній укіс дамби повинен мати кут нахилу 1:(3-3,5). Глибина води над першою бермою повинна складати 4 м, а над другою бермою – близько 2 м. Верхня частина дамби повинна бути покрита кам'яною накидкою з фракцією каміння 1,2 м.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналіз морфодинаміки прибережної зони району ГСХ Дунай – Чорне море за наявними даними космічної зйомки у 2010-2011 рр. та результати промірів глибин в 2011 р. Звіт УЦМЗР, етап 1. – Київ: УЦМЗР, 2011. – 25 с.
2. Аналіз гідроморфологічних і техногенних процесів під час експлуатації ГСХ р. Дунай-Чорне море в рамках проекту “Створення глибоководного суднового ходу р. Дунай-Чорне море на українській ділянці дельти. Повний розвиток” у 2015 році. – Ізмаїл: ДГМО, 2015. – 9 с.
3. Реконструкція споруди огорожувальної дамби МПК ГСХ Дунай-Чорне море на українській ділянці дельти, Одеська область, Кілійський район, гирло Бистре. Математичне та фізичне моделювання хвильових процесів, Етап 1. – Київ: ІГМ НАНУ, 2015. – 73 с.
4. Селезов И.Т., Сидорчук В.Н., Яковлев В.В. Трансформация волн в прибрежной зоне шельфа. – Киев: Наукова думка, 1983. – 208 с.
5. Liu D.-J., Cheng D., Sun Z.-C., Zhao X.-Z., Chen Y., Lin W.-D. Experimental and numerical study of regular waves past a submerged breakwater // J. Hydrodynamics. – 2019. – Vol. 31. – P. 641-653. <https://doi.org/10.1007/s42241-019-0001-9>
6. Селезов И.Т., Сорокина В.В. Численное исследование рефракции поверхностных волн лучевым методом // Гидротехническое строительство. – 1981. – №1. – С. 39-42.
7. SWAN Cycle III version 41.31. User Manual. – Delft University of Technology, Netherlands, 2019. – 149 p.
8. Komen G.J., Cavaleri L., Donelan M., Hasselmann K., Hasselmann S., Janssen P.A.E.M. Dynamics and modelling of ocean waves. – Cambridge: University Press, 1994. – 532 p.
9. Блатов А.С., Иванов В.А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1992. – 244 с.
10. Харитоновна Л.В., Иванча Е.В., Алексеев Д.В. Влияние штормовых нагонов и ветровых волн на морфодинамические процессы в районе Бакальской косы // Морской гидрофизический ж. – 2015. – № 1. – С. 79-90.
11. XBeach Model Description and Manual. – Unesco-IHE Institute for Water Education, Delft and Delft University of Technology, 2015. – 138 p.
12. Roelvink D., Reniers A., van Dongeren A., van Thiel de Vries J., McCall R., Lescinski J. Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands // Coastal Engineering. – 2009. – Vol. 56. – P. 1133-1152. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006>
13. Trouw K., Zimmermann N., Mathys M., Delgado R., Roelvink D. Numerical modelling of hydrodynamics and sediment transport in the surf zone: A sensitivity study with different types of numerical models // Coastal engineering proc. – 2012. – Vol. 33, № 1 – P. 1-12. <https://doi.org/10.9753/icce.v33.sediment.23>
14. McCall R. The longshore dimension in dune over wash modelling. Development, verification and validation of XBeach. – Thesis: Delft University of Technology, 2008. – 147 p.
15. Хомицький В.В., Воскобойник В.А., Харченко А.Г., Воскобойник О.А., Терещенко Л.М., Воскобойник А.В., Нікітін І.А. Захист пляжу активними берегозахисними спорудами // Екологічна безпека та природокористування. – 2019. – Т. 32, № 4. – С. 60-77. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.4.60-77>
16. Yakovlev V., Voskoboinick V., Khomicky V., Tereshchenko L., Tkachenko V. Calculation method of wind waves for variable depths of sea area // Abstracts of the 1st International scientific and practical conference “Innovative Development of Science and Education”. – Athens, Greece, 2020. – P. 153-159.
17. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1977. – 440 с.
18. Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физическое моделирование. – Новосибирск: Наука, 1986; – 295 с.

19. Лаппо Д.Д., Жуковец А.М., Мищенко С.С. Условия автомодельности в исследованиях волнового движения жидкости // Изв. ВИНТИ им. Веденеева. – 1979. – Т. 132. – С. 59-65.
20. Divinsky B.V., Fomin V.V., Kosyan R.D., Ratner Yu.D. Extreme wind waves in the Black Sea // *Oceanologia*. 2019. – Vol. 61, № 1. – P. 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2019.06.003>
21. Крылов Ю.М. Спектральные методы исследования и расчета ветровых волн. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 225 с.
22. Blumberg A.F., Mellor G.L. A description of three dimensional coastal ocean circulation model // in *Coastal and Estuarine Sciences*, N.S. Heaps (ed). – 1987. – Vol. 4. – P. 1-16. <https://doi.org/10.1029/CO004p0001>
23. Селезов И.Т., Хомицкий В.В., Ткаченко В.А., Терещенко Л.Н., Савченко С.А., Братасюк И.П. Исследование трансформации поверхностных гравитационных волн над затопленным волноломом сложной формы // *Прикладная гидромеханика*. – 2013. – Т.15, №4. – С. 71-77.
24. Loksha, Kerpen N.B., Sannasiraj S.A., Sundar V., Schlurmann T. Experimental investigations on wave transmission at submerged breakwater with smooth and stepped slopes // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 116. – P. 713-719. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.356>
25. Voskoboinick V., Voskoboinyk O., Voskobijnyk A. Investigation of wall pressure fluctuation fields using miniature sensors // Abstracts of IX International Scientific and Practical Conference “Actual Aspects of Development in the context of Globalization”. – Florence, Italy, 2020. – P. 265-269.
26. Voskoboinick V., Kornev N., Turnow J. Study of near wall coherent flow structures on dimpled surfaces using unsteady pressure measurements // *Flow Turbulence Combust.* – 2013. – Vol. 90, № 4. – P. 709-722. <https://doi.org/10.1007/s10494-012-9433-9>
27. Voskoboinick V.A., Voskoboinick A.V., Areshkovych O.O., Voskoboinyk O.A. Pressure fluctuations on the scour surface before prismatic pier // *Proc. 8th International Conference on Scour and Erosion (ICSE 2016) 12-15 September 2016. - Oxford, UK, 2016.* – P. 905-910. <https://doi.org/10.1201/9781315375045-115>
28. Voskoboinick V.A., Turick V.N., Voskoboinyk O.A., Voskoboinick A.V., Tereshchenko I.A. Influence of the Deep Spherical Dimple on the Pressure Field Under the Turbulent Boundary Layer // In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEEA 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 754. Springer, Cham. – 2019. – P. 23-32. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_3
29. Vinogradnyi G.P., Voskoboinick V.A., Grinchenko V. T., Makarenkov A. P. Spectral and correlation characteristics of the turbulent boundary layer on an extended flexible cylinder // *J. Fluid Dyn.* – 1989. – 24, № 5. – P. 695-700. <https://doi.org/10.1007/BF01051721>
30. Voskoboinick V.A., Grinchenko V.T., Makarenkov A.P. Correlation characteristics of a wall pressure fluctuation field in a turbulent boundary layer induced by a longitudinal flow along a flexible extended cylinder // *Intern. J. Fluid Mech. Res.* – 2003. – 30, № 6. – P. 644–650. <https://doi.org/10.1615/InterFluidMechRes.v30.i6.70>

Стаття надійшла до редакції 23.03.2020 і прийнята до друку після рецензування 03.07.2020

REFERENCES

1. Analysis of the morphodynamics of the Danube – Black Sea coastal zone according to the available space survey data in 2010-2011 and depth measurements in 2011. (2011). *UCMZR Report, Phase 1*. Kyiv: UCMZR. (in Ukrainian)

2. Analysis of hydromorphological and technogenic processes during the operation of the Danube-Black Sea GCS within the framework of the project “Creation of a deep-water course of the Danube-Black Sea on the Ukrainian section of the Delta. Full Development” in 2015. (2015). Ishmael: DGMO. (in Ukrainian)
3. Reconstruction of the construction of the Danube-Black Sea MPK GSKh dam on the Ukrainian delta section, Odesa region, Kili district, Bystre mouth. *Mathematical and Physical Modeling of Wave Processes, Stage 1*. (2015). Kiev: IHM NASU. (in Ukrainian)
4. Selezov, I.T., Sidorchuk, V.N., & Yakovlev, V.V. (1983). *Transformation of waves in the coastal zone of the shelf*. Kyiv: Naukova dumka. (in Russian)
5. Liu, D.-J., Cheng, D., Sun, Z.-C., Zhao, X.-Z., Chen, Y., & Lin, W.-D. (2019). Experimental and numerical study of regular waves past a submerged breakwater. *J. Hydrodynamics*, 31, 641-653. <https://doi.org/10.1007/s42241-019-0001-9>
6. Selezov, I.T., & Sorokina, V.V. (1981). Numerical study of surface wave refraction by the ray method. *Hydrotechnical construction*, 1, 39-42. (in Russian)
7. SWAN Cycle III version 41.31. User Manual. (2019). Delft University of Technology, Netherlands.
8. Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., & Janssen P.A.E.M. (1994). *Dynamics and modelling of ocean waves*. Cambridge: University Press.
9. Blatov, A.S., & Ivanov, V.A. (1992). *Hydrology and hydrodynamics of the Black Sea shelf zone*. Kiev: Naukova dumka. (in Russian)
10. Kharitonova, L.V., Ivancha, E.V., & Alekseev, D.V. (2015). Influence of storm surges and wind waves on morphodynamic processes in the area of Bakal spit. *Marine hydrophysical j.*, 1, 79-90. (in Russian)
11. XBeach Model Description and Manual. (2015). Unesco-IHE Institute for Water Education, Delft and Delft University of Technology.
12. Roelvink, D., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R., & Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, 56, 1133-1152. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006>
13. Trouw, K., Zimmermann, N., Mathys, M., Delgado, R., & Roelvink, D. (2012). Numerical modelling of hydrodynamics and sediment transport in the surf zone: A sensitivity study with different types of numerical models. *Coastal engineering proc.*, 33(1), 1-12. <https://doi.org/10.9753/icce.v33.sediment.23>
14. McCall, R. (2008). The longshore dimension in dune over wash modelling. Development, verification and validation of XBeach. Thesis: Delft University of Technology.
15. Khomicky, V., Voskoboinick, V., Kharchenko, A., Voskoboinyk, O., Tereshchenko, L., Voskoboinick, A., & Nikitin, I. (2019). Defense of beach by active coast-protecting structures. *Environmental Safety And Natural Resources*, 32(4), 60-77. doi:<http://dx.doi.org/10.32347/2411-4049.2019.4.60-77>. (in Ukrainian)
16. Yakovlev, V., Voskoboinick, V., Khomicky, V., Tereshchenko, L., & Tkachenko, V. (2020). Calculation method of wind waves for variable depths of sea area. *Abstracts of Papers. 1st International scientific and practical conference “Innovative Development of Science and Education”*. Athens, Greece, 2020. (pp. 153-159).
17. Sedov, L.I. (1977). *Methods of similarity and dimension in mechanics*. M.: Nauka. (in Russian)
18. Kutateladze, S.S. (1986). *Similarity analysis and physical modeling*. Novosibirsk: Nauka. (in Russian)
19. Lappo, D.D., Zhukovets, A.M., & Mishchenko, S.S. (1979). Self-driving conditions in studies of fluid wave motion. *Izv. VINITI im. Vedeneeva*, 132, 59-65. (in Russian)
20. Divinsky, B.V., Fomin, V.V., Kosyan, R.D., & Ratner, Yu.D. (2019). Extreme wind waves in the Black Sea. *Oceanologia*, 61(1), 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2019.06.003>
21. Krylov, Yu. M. (1966). *Spectral methods for the study and calculation of wind waves*. L.: Hydrometeoizdat. (in Russian)

22. Blumberg, A.F., & Mellor, G.L. (1987). *A description of three dimensional coastal ocean circulation model*. In N.S. Heaps (Ed.), *Coastal and Estuarine Sciences* (Vol. 4, pp. 1-16). doi:<https://doi.org/10.1029/CO004p0001>
23. Selezov, I.T., Khomitsky, V.V., Tkachenko, V.A., Tereshchenko, L.N., Savchenko, S.A., & Bratasyuk, I.P. (2013). Investigation of the transformation of surface gravitational waves over a flooded wave of complex shape. *Applied Hydromechanics*, 15(4), 71-77. (in Russian)
24. Loksha, Kerpen N.B., Sannasiraj, S.A., Sundar, V., & Schlurmann, T. (2015). Experimental investigations on wave transmission at submerged breakwater with smooth and stepped slopes. *Procedia Engineering*, 116, 713-719. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.356>
25. Voskoboinick, V., Voskoboinyk, O., & Voskobijnyk, A. (2020). Investigation of wall pressure fluctuation fields using miniature sensors. *Abstracts of Papers. IX International Scientific and Practical Conference "Actual Aspects of Development in the context of Globalization"*. Florence, Italy, 2020. (pp. 265-269).
26. Voskoboinick, V., Kornev, N., & Turnow, J. (2013). Study of near wall coherent flow structures on dimpled surfaces using unsteady pressure measurements. *Flow Turbulence Combust*, 90(4), 709-722. <https://doi.org/10.1007/s10494-012-9433-9>
27. Voskoboinick, V.A., Voskoboinick, A.V., Areshkovych, O.O., & Voskoboinyk, O.A. (2016). Pressure fluctuations on the scour surface before prismatic pier. In *Proc. 8th International Conference on Scour and Erosion (ICSE 2016)*, Oxford, UK, 12-15 September 2016. (pp. 905-910). <https://doi.org/10.1201/9781315375045-115>
28. Voskoboinick, V.A., Turick, V.N., Voskoboinyk, O.A., Voskoboinick, A.V., & Tereshchenko, I.A. (2019). *Influence of the Deep Spherical Dimple on the Pressure Field Under the Turbulent Boundary Layer*. In Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (Eds.), *Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol 754. pp. 23-32). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_3
29. Vinogradnyi, G.P., Voskoboinick, V.A., Grinchenko, V.T., & Makarenkov, A.P. (1989). Spectral and correlation characteristics of the turbulent boundary layer on an extended flexible cylinder. *J. Fluid Dyn.*, 24(5), 695-700. <https://doi.org/10.1007/BF01051721>
30. Voskoboinick, V.A., Grinchenko, V.T., & Makarenkov, A.P. (2003). Correlation characteristics of a wall pressure fluctuation field in a turbulent boundary layer induced by a longitudinal flow along a flexible extended cylinder. *Intern. J. Fluid Mech. Res.*, 30(6), 644-650. <https://doi.org/10.1615/InterJFluidMechRes.v30.i6.70>

The article was received 23.03.2020 and was accepted after revision 03.07.2020

Хомицький Віталій Володимирович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу Гідродинаміки хвильових і руслових потоків Інституту гідромеханіки НАН України

Адреса робоча: 03057, Україна, Київ, вул. Марії Капніст, 8/4

ORCID ID 0000-0003-0910-2233 **e-mail:** homicky@ukr.net

Островерх Борис Миколайович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу Гідродинаміки хвильових і руслових потоків Інституту гідромеханіки НАН України

Адреса робоча: 03057, Україна, Київ, вул. Марії Капніст, 8/4

ORCID ID 0000-0002-3373-5535 **e-mail:** ostro@ukr.net

Ткаченко Віктор Олексійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу Гідродинаміки хвильових і руслових потоків Інституту гідромеханіки НАН України

Адреса робоча: 03057, Україна, Київ, вул. Марії Капніст, 8/4

ORCID ID *e-mail:* tkachenkob@gmail.com

Воскобійник Володимир Анатолійович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу Гідродинаміки хвильових і руслових потоків Інституту гідромеханіки НАН України

Адреса робоча: 03057, Україна, Київ, вул. Марії Капніст, 8/4

ORCID ID 0000-0003-2161-6923 *e-mail:* vlad.vsk@gmail.com

Терещенко Лідія Миколаївна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу Гідродинаміки хвильових і руслових потоків Інституту гідромеханіки НАН України

Адреса робоча: 03057, Україна, Київ, вул. Марії Капніст, 8/4

ORCID ID 0000-0001-6068-7092 *e-mail:* litere70@gmail.com

UDC 551.435.125; 551.438.5; 627.157

Iryna M. Gorban¹, PhD, Associate professor of the Department of Technical Hydromechanics of the Institute of Hydromechanics of the NAS of Ukraine
ORCID ID 0000-0001-9662-2813 *e-mail*: ivgorban@gmail.com

Anna S. Korolova¹, PhD, Researcher of the Department of Technical Hydrodynamics of the Institute of Hydromechanics of the NAS of Ukraine
ORCID ID 0000-0003-0693-4552 *e-mail*: kan5nas@gmail.com

Georgiy P. Sokolovskiy¹, Leading engineer of the Department of Technical Hydromechanics of the Institute of Hydromechanics of the NAS of Ukraine

Pavlo Y. Romanenko¹, Leading engineer of the Department of Hydrodynamics of Hydroengineering Construction of the Institute of Hydromechanics of the NAS of Ukraine

Stepan M. Srebnyyuk², PhD, Professor of the Department of Architecture and Urban construction of the National University «Yuri Kondratyuk Poltava Politechnic»

¹ Institute of Hydromechanics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² National University «Yuri Kondratyuk Poltava Politechnic», Poltava, Ukraine

PHYSICAL SIMULATION OF EROSION OF BOTTOM PITS

Abstract. *The present paper is devoted to research of the erosion of large-scale sand pits in the water flow. The investigations were performed in the hydrodynamic flume with sandy bottom. To provide suitable conditions for sediment transport in the flume, the analysis of the factors leading to the motion of sediments was carried out in accordance with the Shields diagram. It was shown that the flow regime created in the laboratory channel promotes the development of natural bed forms such as ripples. Estimations of the velocity of movement of the ripples were obtained. The experiments with large sand pits on the flume bottom demonstrated that those disturb the balance of sediments and cause the reformatting of the water flow. To assess the influence of the pit configuration on the erosion process, two-dimensional triangular and trapezoidal pits were considered. It was found that the longitudinal profile of the triangular pit changes due to sediment deposition on its upper slope and erosion of the lower slope. The pit upper slope levels out and shifts forward due to the continuous flow of sediment in this region. The depth of the unevenness also decreases owing to deposition of the sediment directly on its bottom. Due to the blow of water jet to the pit lower slope, the zone of maximum erosion of the bottom surface is observed here. The bottom reformatting leads to the displacement of the pit downstream. Studies of the erosion of the trapezoidal pit have shown that its upper slope is first shifted toward the lower slope until the trapezoidal profile turns into a triangular one. The pit erosion causes also the deformation of natural forms of the channel bed and destabilization of sediment discharge. The analysis of the obtained data demonstrated that the reformation of channel bed is a durable process depending of the ratio of pit scales to the volume of sediment. The present study is useful for development of engineering solutions directed to reduction of risks caused by the interaction of sand quarries with hydraulic structures in rivers.*

Key words: *erosion; sediment transport; sand ripples; bottom pits*

І.М. Горбань¹, А.С. Корольова¹, Г.П. Соколовський¹, П.Ю. Романенко¹,
С.М. Срібнюк²

¹ Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

² Національний університет "Полтавський політехнічний інститут ім. Юрія Кондратюка", м. Полтава, Україна

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗМИВУ ДОННИХ ЗАГЛИБЛЕНЬ

***Анотація.** Виконане фізичне моделювання морфологічних процесів, зумовлених розмивом великих донних заглиблень (піщаних кар'єрів) потоком води. Режим течії в лабораторному каналі вибирався таким чином, щоб ініціювати рух наносів на піщаному дні. Показано, що створені умови сприяють появі та розвитку природних форм донної поверхні, а саме – гряд. Заглиблення, що досліджувалися, розташовувалися поперек каналу та мали трикутну і трапецієподібну форми у перерізі. Отримано, що в результаті відкладення наносів на верховому укосі та розмиву низового укосу змінюється поздовжній профіль нерівності та відбувається її переміщення вниз за течією. При цьому мають місце деформація природних форм донної поверхні та дестабілізація стоку наносів. Аналіз показав, що переформування дна при взаємодії потоку рідини з донним заглибленням є досить тривалим процесом, який залежить від співвідношення розмірів і форми заглиблення з обсягом стоку наносів. Дане дослідження може бути основою для розробки інженерних рішень щодо зменшення впливу великих піщаних кар'єрів на еволюцію потоку в природних водоймах та попередження техногенних аварій, зумовлених взаємодією піщаних кар'єрів з гідротехнічними спорудами.*

***Ключові слова:** розмив; транспорт наносів; піщані гряди; донні заглиблення*

Вступ

Річкове русло належить до складних форм рельєфу, що весь час змінюються під впливом течії води. Зазвичай його еволюція залежить від періодичних змін в оточуючому середовищі – пори року, кліматичних умов тощо. Зовнішнє втручання у природний розвиток русла викликає його зворотну, часто негативну, реакцію на порушення факторів формування.

Найнебезпечніші руслові явища виникають через розробку донних кар'єрів. Ці штучні донні утворення мають, як правило, великі глибини і поперечні розміри, завдяки чому істотно впливають як на морфометричні характеристики русла, так і на гідрологічний режим потоку. Морфологічні процеси на донній поверхні, викликані інтенсивною промисловою діяльністю, повністю руйнують природні форми руслового рельєфу і, тим самим, порушують баланс стоку наносів, які формують русло. В умовах інтенсивних антропогенних навантажень природні процеси, спрямовані на відновлення системи, найчастіше не справляються з величезними масштабами видобутку донного матеріалу, що призводить до формування глибоких ям на річковому дні.

Еволюція таких утворень викликає розвиток ерозійних процесів на донній поверхні водойми і, тим самим, ініціює руслові деформації різної спрямованості. Надалі ці явища можуть призвести до зниження стійкості русла та пошкодження гідротехнічних споруд, через що є загроза виникнення екологічно небезпечних ситуацій в оточуючому середовищі. Тому,

дослідження еволюції глибоких донних утворень техногенного характеру є вкрай важливим для отримання повної картини їхньої поведінки та вироблення пропозицій щодо зменшення їх впливу на руслові процеси та річкові технічні споруди.

Більшість робіт, в яких досліджувалися руслові течії, головним чином, були спрямовані на визначення умов щодо початку руху наносів [1–4]. Вони, як відомо, можуть транспортуватися у формі донних наносів або донних та зважених наносів, що залежить від розміру частинок і режиму течії. Найбільш широко застосовуються методи, які ґрунтуються на концепції, що транспорт наносів починається при постійному значенні безрозмірного донно-зсувного напруження або критичної напруги Шільдса, і застосовується підхід, подібний до діаграми Шільдса. Всебічний огляд та систематичний аналіз досліджень щодо початку руху наносів представлений в роботі [5]. Там показано, що в окремих експериментах спостерігалось досить істотне відхилення вимірних критичних зсувних напружень від стандартної кривої Шільдса. Однак, порівняння кривих, запропонованих різними авторами, з доступними даними [6] і методами для передбачення умов початку руху частинок на однорідному піщаному дні [7] показало, що діаграма Шільдса забезпечує простий рівень можливості прогнозувати експериментальні спостереження і дає хороший результат для досягнення інженерних і седиментологічних цілей.

Одним з найбільш ґрунтовних натурних і лабораторних досліджень щодо переносу домішків є робота [1], де представлений метод, який дає можливість обчислити потужність перенесення донного матеріалу, виходячи з висоти стрибка і швидкості частинок, а також концентрації наносів. Також слід відзначити роботи [8–11]. Результати досліджень щодо початку руху осадових частинок на негоризонтальних донних поверхнях наведені в [12–14].

Важливим фактором транспорту донних наносів є утворення й розвиток природних донних форм, таких як ріфелі і дюни. Більшість досліджень в цьому напрямку спрямовані на визначення основних геометричних характеристик цих утворень та вивчення особливостей структури водної течії над ними [15–18]. В цих та інших роботах показано, що розмір і форма донних конфігурацій залежать, головним чином, від швидкості і глибини водної течії, фізичних властивостей рідини і осадових частинок, а також відповідних чисел Фруда та Рейнольдса. Також наголошується, що у випадках, де переважає транспорт донних наносів, дюни часто мають асиметричний профіль з кутом нахилу підвітряного боку, що дорівнює куту природного укусу ($\sim 30^\circ$), а потік над ними характеризується наявністю області постійного поділу біля підвітряного боку (в западині). Щоб зрозуміти вплив донних конфігурацій на поле потоку і наслідки для транспорту наносів, багато дослідників застосовували чисельні методи [17, 19–21]. Когерентні структури, які генеруються в зоні поділу потоку (над дюнами), досить добре прогнозуються за допомогою методу великих вихорів (Large Eddy Simulation) [22, 23].

Представлений огляд охоплює лише малу частину досліджень, присвячених русловим процесам, що зумовлені транспортом наносів. Потрібно відзначити, що роботи, в яких вивчалася еволюція донних ям в незв'язних ґрунтах, які піддаються впливу потоку рідини, залишаються досить нечисленними [24, 25].

В цій роботі виконане фізичне моделювання процесів переносу домішків та переформатування дна, які зумовлені обтіканням донних заглиблень великого

масштабу. Експерименти проводилися у гідродинамічному лотку лабораторного комплексу Інституту гідромеханіки НАН України. Для того, щоб найкраще врахувати співвідношення масштабів реального процесу, було розроблено спеціальну методику виділення тонких фракцій піску, з яких потім формувалося дно експериментального каналу. Заглиблення, що досліджувалися, розташовувалися поперек каналу та мали трикутну і трапецієподібну конфігурації у вертикальному перерізі. Отримано, що в результаті відкладення наносів на верховому укосі та розмиву низового укосу змінюється поздовжній профіль нерівності та відбувається її переміщення вниз за течією. Тривалість переформатування дна за наявності заглиблення залежить від співвідношення його розмірів з обсягом стоку наносів.

Опис експериментальної установки

Експерименти виконувалися у гідродинамічному лотку довжиною 7 м, шириною 0,17 м та висотою 0,22 м (рис. 1). Стінки лотка зроблені з плексигласу товщиною 10 мм. Торцева стінка лотка має форму зрізаної піраміди з розмірами 0,8×0,75×0,9 м.

Вода в лоток подавалася за допомогою насосів через напірний бак (цифра 14 на рис. 1), який одночасно є й баком для відстою води. Об'єм баку складає ~1 м³. Бак з'єднаний з лотком за допомогою трубопроводу. Рівень води і швидкість течії в лотку контролюються за допомогою спеціальних кранів. Один з них встановлений на виході з напірного баку (цифра 13 на рис. 1), інший застосовується для зливання води з лотка (цифра 1 на рис. 1). Робоча частина експериментального каналу шириною 2,3 см розташована на відстані ~3 м від його торця.

Шар наносів на дні складався з піску, що включав фракції розміром 0,3–0,32 мм. Висота насипного дна досягала 10–12 см. Глибина течії підтримувалася на рівні 0,05 м, а її середня швидкість дорівнювала ~ 0,27 м/с.

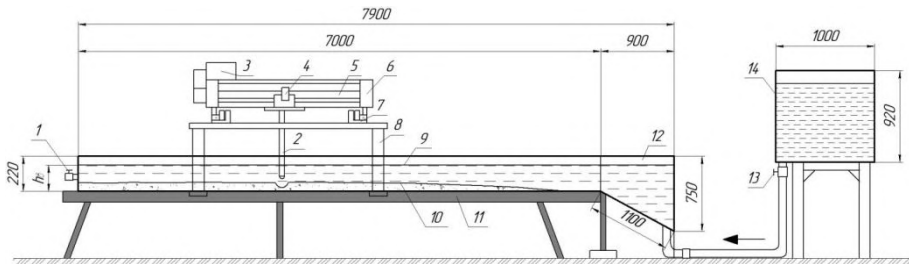


Рис. 1 – Схема лабораторного каналу:

- 1 – зливний кран; 2 – оптичний датчик (зонд); 3 – електромеханічний привід;
- 4 – каретка; 5 – ходовий гвинт; 6 – візок; 7 – поперечні направляючі;
- 8 – рухомий стіл; 9 – вільна поверхня; 10 – піщане дно; 11 – поздовжні направляючі;
- 12 – конфузур; 13 – витратний кран; 14 – напірний бак

Для утворення донного заглиблення застосовувався так званий землесосний спосіб розмиву ґрунту. Він полягає в тому, що під водою, поблизу поверхні ґрунту, що розробляється, розташовується приймальний отвір всмоктувальної трубки землесосу і створюються умови, при яких відбувається всмоктування у

трубку частинок ґрунту разом із водою. При цьому, найважливішим фактором є положення всмоктувальної трубки відносно площини ґрунту – чим ближче до поверхні розташоване її гирло, тим інтенсивніше відбувається всмоктування ґрунту. Крім того, істотний вплив на інтенсивність розмиву має швидкість рідини у всмоктувальній трубці [26].

Процес розмиву дна реєструвався за допомогою відеокамери та фотоапарату, що дозволяло отримати повну картину зміни профілю заглиблення на донній поверхні та встановити швидкість його переміщення в межах робочої частини лотка. Розглядалися двовимірні заглиблення різної глибини та ширини, що мають трикутну або трапецієвидну конфігурацію у поперечному перерізі.

Представляючи собою штучні негативні форми рельєфу дна, заглиблення постійно знаходяться під дією різних природних факторів, спрямованих на їх вирівнювання. Одним із таких факторів є рух наносів.

Визначення умов початку руху наносів

В більшості досліджень, де розглядається транспортування зважених наносів потоком води, для описання критичних умов щодо початку руху частинки використовується експериментальна крива Шільдса (1936), яка представляє собою залежність безрозмірної критичної зсувної напруги θ_{cr} від критичного числа Рейнольдса частинки $Re_{*,cr}$ (рис. 2 [27]). $Re_{*,cr}$ визначається наступним чином:

$$Re_{*,cr} = u_{cr}^* d_{50} / \nu, \quad (1)$$

де u_{cr}^* – критична швидкість зсуву, [м/с]; d_{50} – середній діаметр донних частинок, [м]; ν – кінематична в'язкість рідини [м²/с].

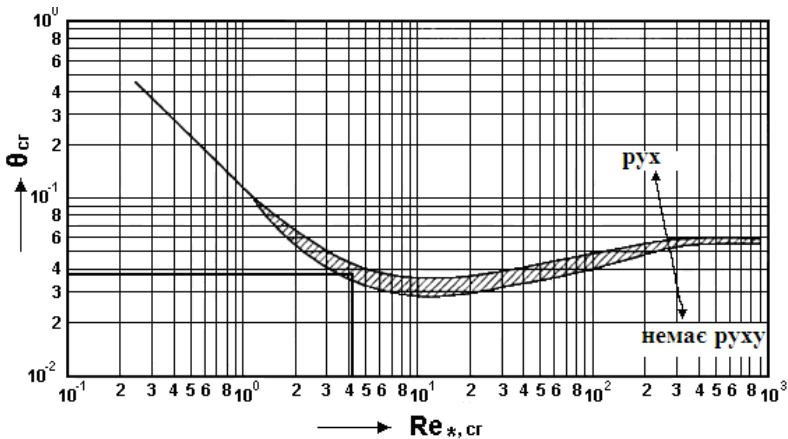


Рис. 2 – Графік Шільдса для визначення початку руху наносів

Крива на рис. 2 відповідає критичним значенням зсувної напруги $\theta = \theta_{cr}$. Рух наносів починається при значеннях зсувної напруги, більших за θ_{cr} . Ці

точки на рис. 2 лежать вище критичної кривої. Якщо $\theta < \theta_{cr}$, донні наноси перебувають у спокої.

Безрозмірне критичне зсувне напруження θ_{cr} (параметр Шильдса) є відношенням сили, яка спонукає частинку рухатися, до сили, що перешкоджає цьому рухові. Воно залежить від гідравлічних умов на донній поверхні, форми частинки, її фізичних властивостей та положення відносно інших частинок:

$$\theta_{cr} = \frac{(u_{cr}^*)^2}{(\rho_s/\rho - 1)gd_{50}} = \frac{\tau_{b,cr}}{(\rho_s - \rho)gd_{50}}, \quad (2)$$

де $\tau_{b,cr}$ – критичне дотичне напруження на донній поверхні, [Па];

ρ_s – густина наносів [кг/м³] (для кварцу $\rho_s = 2600 \div 2700$ кг/м³);

ρ – густина води [кг/м³] ($\rho = 1000$ кг/м³);

g – прискорення вільного падіння, [м/с²].

Величина θ_{cr} може бути визначена з наступної емпіричної залежності [27]:

$$\theta_{cr} = 0,22\beta + 0,06 \cdot 10^{-7,7\beta}, \quad (3)$$

де $\beta = \left(\frac{1}{v} \sqrt{\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) gd^3} \right)^{-0,6}$; γ, γ_s – питома вага рідини і наносів [Н/м³],

відповідно.

Відомі також емпіричні залежності θ_{cr} від безрозмірного параметра частинки D_* [1]:

$$\begin{aligned} \theta_{cr} &= 0,24(D_*)^{-1} && \text{для } D_* \leq 4 \\ \theta_{cr} &= 0,14(D_*)^{-0,64} && \text{для } 4 < D_* \leq 10 \\ \theta_{cr} &= 0,04(D_*)^{-0,10} && \text{для } 10 < D_* \leq 20 \\ \theta_{cr} &= 0,013(D_*)^{0,29} && \text{для } 20 < D_* \leq 150 \\ \theta_{cr} &= 0,055 && \text{для } D_* > 150, \end{aligned} \quad (4)$$

де $D_* = d_{50} \left[\frac{(s-1)g}{v^2} \right]^{-1/3}$, $s = \rho_s/\rho$ – питома щільність наносів.

Як вже наголошувалося, рух частинок донного матеріалу у стійкому потоці виникає, коли безрозмірне зсувне напруження θ (параметр рухливості) перевищує граничне значення θ_{cr} . Величина θ визначається з формули (2), де замість $\tau_{b,cr}$ розглядається дотичне напруження поблизу дна τ_b , яке відповідає стану потоку, що моделюється. В умовах однорідної рівномірної течії τ_b визначається за наступною формулою:

$$\tau_b = \rho g \frac{V^2}{C^2}, \quad (5)$$

де V – середня швидкість течії, [м/с], C – коефіцієнт Шезі. Якщо донне тертя описується формулою Маннінга, то при коефіцієнті шорсткості $n = 0,01$ маємо $C = 45,9$. Емпірична залежність граничного значення зсувного напруження від діаметру частинки представлена на рис. 3 [28].

На основі наведених вище співвідношень був проведений аналіз гідравлічних умов проведеного експерименту. Вимірювання показало, що середній діаметр піщаних частинок, з яких складалося дно експериментального каналу, $d_{50} = 0,3$ мм. З цього отримуємо, що при стандартних фізичних властивостях кварцу і води безрозмірний діаметр частинок $D_* = 7,59$. З (4) випливає, що критичне число Шільдса θ_{cr} , яке відповідає цьому значенню D_* , дорівнює 0,038. При цьому, інші критичні параметри мають наступні значення:

дотичне напруження на дні $\tau_{b,cr} = 0,185$ Па,

швидкість зсуву $u_{cr}^* = \sqrt{\tau_{b,cr} / \rho} = 0,0136$ м/с,

число Рейнольдса зсуву $Re_{*,cr} = 4,08$.

З формули (5) випливає, що дотичне напруження на донній поверхні, що відповідає стану течії, яка моделюється, дорівнює $\tau_b = 0,34$ Па.

Використовуючи це значення, отримуємо, що параметр рухливості $\theta = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho)gd_{50}} = 0,07$, швидкість зсуву $u^* = \sqrt{\tau_b / \rho} = 0,0184$ м/с, число

Рейнольдса зсуву $Re_* = u^* d_{50} / \nu = 4,08$. Отримані значення перевищують критичні, тобто, у лабораторному каналі створені умови для транспорту донних наносів (рис. 3 [28]).

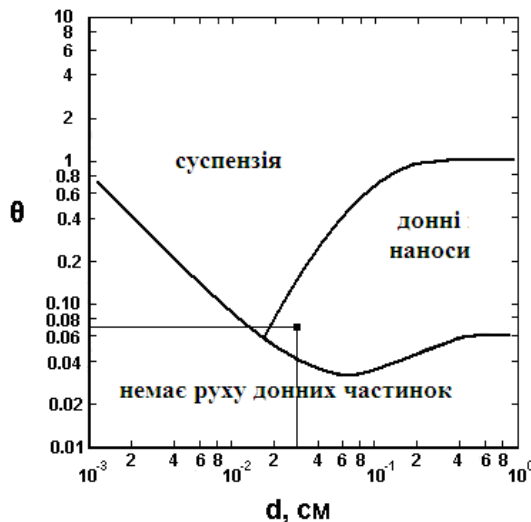


Рис. 3 – Поріг руху і форма транспорту кварцових порід у воді

Дослідження формування донних хвиль

Типовою особливістю переміщення донних наносів є утворення на дні піщаних хвиль, які систематизуються як ріфелі і гряди. Їхні розміри та форма залежать від швидкості течії, енергії і глибини потоку, числа Фруда, фізико-хімічних властивостей наносів і рідини. В алювіальних річках ці відомі руслові форми покривають усю донну поверхню. Дане явище спостерігалось і в дослідженні, що розглядається.

Через деякий час після початку експерименту поверхня дна, яка спочатку була рівною, набувала хвилеподібного вигляду. Аналіз отриманих результатів показав, що на дні сформувалися регулярні гряди висотою $\approx 0,001$ м і довжиною $\approx 0,011 \div 0,012$ м (рис. 4). Зазначимо, що потік на рис. 4 спрямований справа наліво. Згідно з класифікацією, запропонованою в [30], висота гряди визначається як різниця висотної позначки між гребенем та низовою западиною, а довжина – як поздовжня відстань між двома послідовними гребенями або западинами.

Такі утворення є досить масштабними, тому, в цьому випадку, має місце обернений вплив морфологічних процесів на еволюцію водної течії, інтенсивність якого залежить від розміру донних нерівностей [18]. Гряди переміщуються разом із течією, але швидкість їхнього руху є набагато меншою за швидкість води. При підвищенні швидкості потоку збільшуються як швидкість переміщення донних форм, так і їх висота [31]. Відповідно, заглиблення у грядах будуть заповнюватися швидше.

Слід звернути увагу на те, що утворення і розвиток руслових форм відбуваються лише при помірних значеннях швидкості течії. Якщо швидкість води достатньо велика, наноси рухаються суцільним шаром і донні форми не утворюються, а ті, що існували раніше, руйнуються потоком та зникають [32].



Рис. 4 – Картина піщаних гряд на дні гідродинамічного лотка

В експериментах швидкість руху донних форм визначалася за переміщенням характерних точок донного профілю протягом заданого часового проміжку. Отримано, що при середній швидкості течії $\sim 0,27$ м/с і постійному надходженні наносів швидкість переміщення гряд по дну складала від $1,5 \times 10^{-4}$ м/с до $3,2 \times 10^{-4}$ м/с, що залежало від товщини піщаного дна у лотку. Спостереження виявили, що до зменшення швидкості, з якою рухаються донні форми, призводила недостатня кількість наносів в експериментальному каналі.

Отримані результати щодо швидкості переміщення гряд узгоджуються зі значенням, яке впливає з емпіричної формули, запропонованої в [33]:

$$C_{\tilde{A}} = 0,019 \cdot V \cdot Fr^3, \quad (6)$$

де V – середня швидкість потоку води, $Fr = V/\sqrt{gH}$ – число Фруда, H – глибина води. При заданих характеристиках потоку в експериментальному каналі: $V = 0,27$ м/с, $H = 0,05$ м, з (6) отримуємо $C_{\tilde{A}} = 2,95 \cdot 10^{-4}$.

Дослідження еволюції донних заглиблень

Заглиблення, що досліджувалися, розташовувалися поперек каналу та мали трикутну і трапецієподібну форму у перерізі. Область заглиблення обмежена верхнім і низовим укосами (рис. 5). Дослідження показали, що зміна рельєфу дна порушує баланс наносів та призводить до переформатування гідродинамічної течії.

При вивченні взаємодії потоку із заглибленням умовно можна виділити три ділянки: I – вище заглиблення; II – в межах заглиблення; III – нижче заглиблення. В межах кожної з цих ділянок параметри потоку і русла змінюються по-різному. На I ділянці відбувається транспортування наносів, які потім відкладаються на II ділянці. На III ділянці має місце розмив донної поверхні, викликаний ударом потоку води об низовий укіс. Вплив заглиблення проявляється також в тому, що на I і III ділянках відбувається трансформація донних форм, які спостерігалися на плоскому дні. По мірі надходження наносів верховий укіс неперервно зміщується до низового, внаслідок чого заглиблення заповнюється. Глибина нерівності зменшується також через те, що частина наносів відкладається безпосередньо на її дно. Зона максимального розмиву донної поверхні спостерігається в районі низового укосу (початок ділянки III). При віддаленні від нерівності інтенсивність розмиву зменшується.

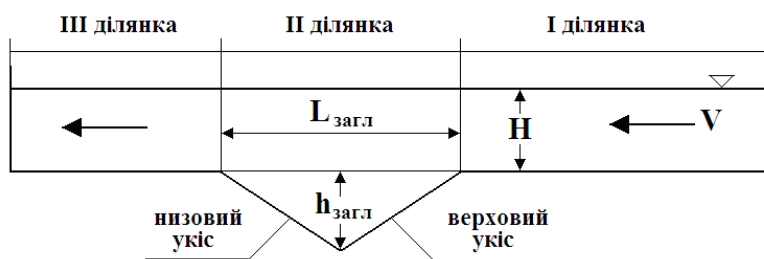


Рис. 5 – Схема заглиблення

Нижче представлені фотокадри з експерименту, на яких зображена еволюція трикутного піщаного заглиблення.

Профіль заглиблення в початковий момент часу в спокійній воді показаний на кадрі 1. Після створення течії починається переміщення частинок піску, яке приводить до формування гряд на донній поверхні, що добре видно на кадрі 2. Підходячи до заглиблення, наноси скочуються по верховому укосі, частково відкладаючись на стінці, через що її нахил зменшується. В той же час, удар потоку води об низовий укіс викликає його розмив, внаслідок чого збільшується діаметр заглиблення. Ці процеси відображено на кадрах 3–4. Крім того, що в процесі розмиву змінюється поперечний профіль заглиблення,

воно ще й рухається вниз по потоку. Його зміщення можна визначити, слідкуючи за характерними точками профілю. Фотокадри 5–8 на рис. 6 відповідають кінцевій стадії переформатування донної поверхні при обтіканні потоком води заглиблення трикутної форми.

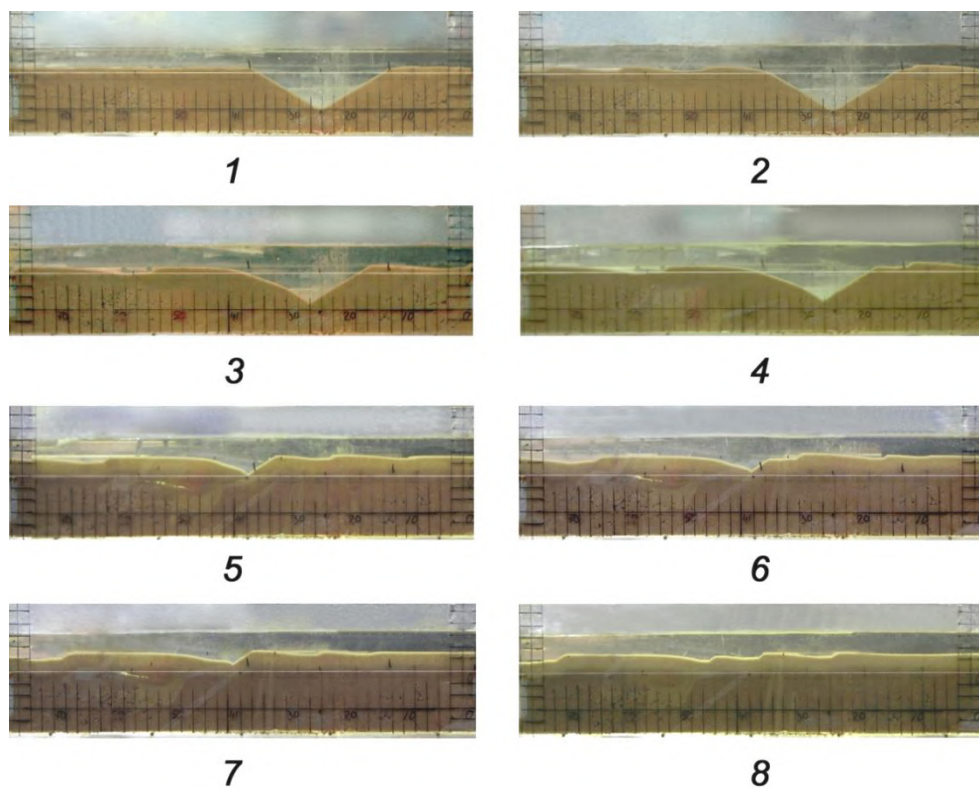


Рис. 6 – Послідовні фотокадри обтікання течією трикутного донного заглиблення

Схема деформації заглиблення при його частковому занесенні зображена на рис. 7. Її побудовано по фотокадрах 1–4 з рис. 6. Зона відкладення наносів (верховий укіс) і зона максимального розмиву (низовий укіс) заштриховані. Вихідні параметри заглиблення, що розглядалося, показані на рисунку. Видно, що при зміщенні кут нахилу верхового укоса по відношенню до горизонту практично не змінюється. Розмив низового укосу і прилеглої до нього області відбувається досить повільно.



Рис. 7 – Схема деформації заглиблення трикутної форми при його обтіканні потоком води

Дослідження розмиву донного заглиблення трапецієподібної форми показали, що його еволюція відрізняється від попередніх результатів тим, що, в цьому разі, спочатку відбувається зміщення верхового укосу у бік низового. Воно продовжується до тих пір, поки трапецієподібний профіль не перетвориться у трикутний. Таким чином, тривалість процесів, пов'язаних з переформуванням дна, збільшується. Отримано, що швидкість переміщення верхового укосу по дну заглиблення складає $\approx 2,9 \cdot 10^{-6}$ м/с. Фотокадри обтікання донного заглиблення трапецієподібної форми і схема зміни обрисів поздовжнього профілю цього заглиблення представлені на рис. 8 і 9, відповідно.

Результати виконаних досліджень свідчать про те, що переформування дна при взаємодії потоку рідини з донним заглибленням є досить тривалим процесом, який закінчується тоді, коли досягається рівновага між живою силою потоку і потужністю потоку донних наносів.

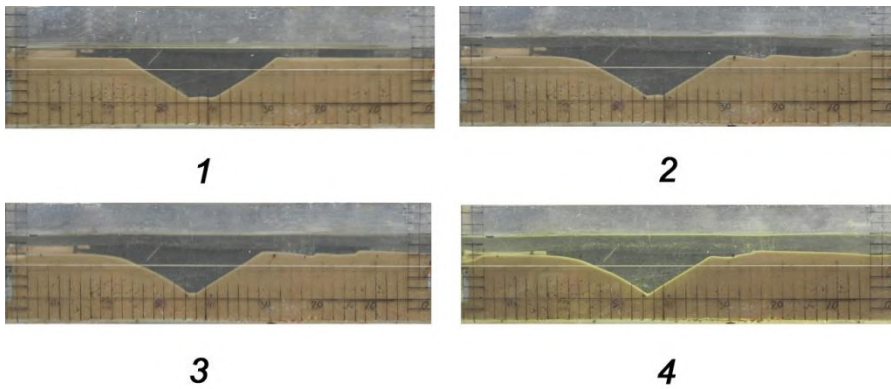


Рис. 8 – Послідовні фотокадри обтікання потоком донного заглиблення трапецієподібної форми

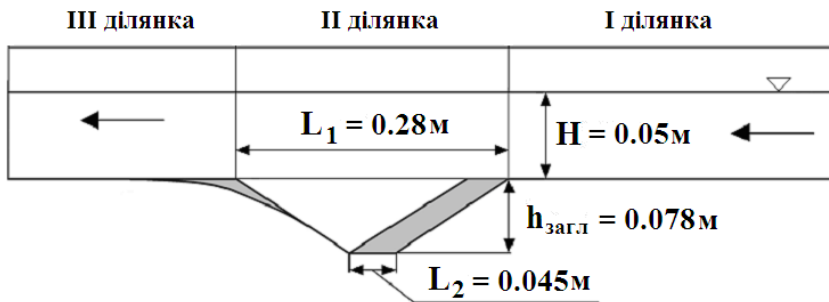


Рис. 9 – Схема деформації заглиблення трапецієподібної форми

Висновки

Виконане фізичне моделювання процесу переносу домішків при обтіканні водою великих кар'єрів, утворених на піщаному дні. Отримано якісну картину розмиву двовимірних заглиблень трикутної та трапецієвидної форми у перерізі, яка показує, що в результаті відкладення наносів на верховому укосі та розмиву низового укосу змінюється поздовжній профіль нерівності та відбувається її переміщення вниз за течією. Крім того, наявність кар'єру

призводить до дестабілізації природних форм донної поверхні – гряд, які розвиваються на плоскому дні. Тривалість переформатування дна залежить від співвідношення розмірів кар'єру з обсягом стоку наносів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. van Rijn L. C. Sediment transport, Part I: Bed load transport / L. C. van Rijn // *Journal of Hydraulic Engineering*. – 1984. – Vol. 110, No. 10. – P. 1431–1456.
2. Wiberg P. L. Calculation of the critical shear stress for motion of uniform and heterogeneous sediments / P. L. Wiberg, J. D. Smith // *Water Resources Research*. – 1987. – Vol. 23, No. 8. – P. 1471–1480.
3. Papista E. Direct numerical simulation of incipient sediment motion and hydraulic conveying / E. Papista, D. Dimitrakakis, S. G. Yiantsios // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2011. – 50. – P. 630–638. <https://doi.org/10.1021/ie1000828>
4. Simões F. J. M. Shear velocity criterion for incipient motion of sediment / F. J. M. Simões // *Water Science and Engineering*. – 2014. – 7(2). – P. 183–193. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2014.02.006>
5. Buffington J. M. A systematic analysis of eight decades of incipient motion studies, with special reference to gravel-bedded rivers / J. M. Buffington, D. R. Montgomery // *Water resources research*. – 1997. – Vol. 33, No. 8. – P. 1993–2029.
6. Beheshti A. A. Analysis of threshold and incipient conditions for sediment movement / A.A. Beheshti, B. Ataie-Ashtiani // *Coastal Engineering*. – 2008. – 55. – P. 423–430. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.01.003>
7. Marsh N. A. Comparison of methods for predicting incipient motion for sand beds / N. A. Marsh, A. W. Western, R. B. Grayson // *Journal of Hydraulic Engineering*. – 2004. – Vol. 130, No. 7. – P. 616–621.
8. Cheng N. S. Analysis of bedload transport in laminar flows / N. S. Cheng // *Advances in Water Resources*. – 2004. – 27(9). – P. 937–942. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.05.010>
9. Camenen B. A general formula for non-cohesive bed load sediment transport / B. Camenen, M. Larson // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 2005. – 63. – P. 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.10.019>
10. Ouriemi M. Determination of the critical Shields number for particle erosion in laminar flow / M. Ouriemi, P. Aussillous, M. Medale, Y. Peysson, E. Guazzelli // *Physics of Fluids*. – 2007. – 19, 061706. – P. 1–4. DOI:10.1063/1.2747677
11. Talukdar S. Predictive capability of bedload equations using flume data / S. Talukdar, B. Kumar, S. Dutta // *J. Hydrol. Hydromech.* – 2012. – 60. – P. 45–56. <https://doi.org/10.2478/v10098-012-0004-5>
12. Chiew Y.-M. Incipient sediment motion on nonhorizontal slopes / Y.-M. Chiew, G. Parker // *Journal of Hydraulic Research*. – 1994. – Vol. 32, No. 5. – P. 649–660. <https://doi.org/10.1080/00221689409498706>
13. Dey S. Influence of streamwise bed slope on sediment threshold under stream flow / S. Dey, K. Debnath // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. – 2000. – Vol. 126, No. 4. – P. 255–263. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2000\)126:4\(255\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:4(255))
14. Emadzadeh A. Effect of accelerating and decelerating flows on incipient motion in sand bed streams / A. Emadzadeh, Y.-M. Chiew, H. Afzalimehr // *Advances in Water Resources*. – 2010. – 33. – P. 1094–1104. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.06.014>
15. Talebbeydokhti N. Experimental modeling of dune bed form in a sand-bed channel / N. Talebbeydokhti, A. A. Hekmatza Deh, G. R. Rakhshandehroo // *Iranian Journal of Science & Technology*. – 2006. – Vol. 30, No. B4. – P. 503–516.
16. Langlois V. Initiation and evolution of current ripples on a flat sand bed under turbulent water flow / V. Langlois, A. Valance // *Eur. Phys. J.* – 2007. – 22. – P. 201–208. <https://doi.org/10.1140/epje/e2007-00023-0>

17. Tjerry S. Calculation of dune morphology / S. Tjerry, J. Fredsøe // *Journal of Geophysical Research*. – 2005. – Vol. 110, F04013. – P. 1–13. <https://doi.org/10.1029/2004JF000171>
18. Sukhodolov A. N. Structure of flow over alluvial bedforms: an experiment on linking field and laboratory methods / A.N. Sukhodolov, J.J. Fedele, B.L. Rhoads // *Earth Surface Processes and Landforms*. – 31. – 2006. – P. 1292–1310. <https://doi.org/10.1002/esp.1330>
19. Giri S. Numerical computation of sand dune migration with free surface flow / S. Giri, Y. Shimizu // *Water Resources Research*. – 2006. – Vol. 42, W10422. – P. 1–19. <https://doi.org/10.1029/2005WR004588>
20. Paarlberg A. J. Modeling river dune evolution using a parameterization of flow separation / A. J. Paarlberg, C. Marjolein Dohmen-Janssen, S. J. M. H. Hulscher, P. Termes // *Journal of Geophysical Research*. – 2009. – Vol. 114, F01014. – P. 1–17. <https://doi.org/10.1029/2007JF000910>
21. Nabi M. Detailed simulation of morphodynamics: 3. Ripples and dunes / M. Nabi, H. J. de Vriend, E. Mosselman, C. J. Sloff, Y. Shimizu // *Water Resources Research*. – 2013. – Vol. 49. – P. 1–14. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20457>
22. Grigoriadis D. G. E. Large-eddy simulations of unidirectional water flow over dunes / D. G. E. Grigoriadis, E. Balaras, A. A. Dimas // *Journal of Geophysical Research*. – 2009. – Vol. 114, F02022. – P. 1–19. <https://doi.org/10.1029/2008JF001014>
23. Chang K. Coherent structures in flow over two-dimensional dunes / K. Chang, G. Constantinescu // *Water Resources Research*. – 2013. – Vol. 49. – P. 2446–2460. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20239>
24. Jensen J. H. Sediment transport and backfilling of trenches in oscillatory flow / J. H. Jensen // *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. – 2001. – Vol. 127, No. 5. – P. 272–281. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2001\)127:5\(272\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2001)127:5(272))
25. Горбань І.М. Чисельне моделювання еволюції нерівностей великого масштабу на річковому дні / І.М. Горбань // *Прикладна гідромеханіка*. – 2015. – Т. 17 (89).
26. Юфин А. П. Гидромеханизация / А. П. Юфин. – М.: Стройиздат, 1974. – 223 с.
27. USACE Sedimentation investigations of rivers and reservoirs / Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers, 1995. – EM 1110-2-4000. – 268 p.
28. Chanson H. *The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction* / H. Chanson. – Oxford, UK: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004. – 585 p.
29. Allen J. R. L. *Physical processes of sedimentation* / J. R. L. Allen. – London: George Allen & Unwin Ltd, 1970. – 248 p.
30. Kleinhans M. G. Sorting in grain flows at the lee side of dunes / M. G. Kleinhans // *Earth-Science Reviews*. – 2004. – 65. – P. 75–102. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(03\)00081-3](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(03)00081-3)
31. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков / В. Н. Гончаров. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1962. – 368 с.
32. Боровков В. С. Русловые процессы и динамика речных потоков на урбанизированных территориях / В. С. Боровков. – Ленинград, Гидрометеоздат, 1989. – 286 с.
33. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров: СТО 52.08.31–2012. – Санкт-Петербург: Изд-во «Глобус», 2012. – 140 с. – (Стандарт организации). – <http://www.twirpx.com/file/890305/>.

Стаття надійшла до редакції 23.06.2020 і прийнята до друку після рецензування 04.09.2020

REFERENCES

1. van Rijn, L. C. (1984). Sediment transport, Part I: Bed load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110 (10), 1431-1456.
2. Wiberg, P. L., & Smith, J. D. (1987). Calculation of the critical shear stress for motion of uniform and heterogeneous sediments. *Water Resources Research*, 23 (8), 1471-1480.

3. Papista, E., Dimitrakis, D., & Yiantsios, S. G. (2011). Direct numerical simulation of incipient sediment motion and hydraulic conveying. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50, 630-638. <https://doi.org/10.1021/ie1000828>
4. Simões, F. J. M. (2014). Shear velocity criterion for incipient motion of sediment. *Water Science and Engineering*, 7(2), 183–193. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2014.02.006>
5. Buffington, J. M., & Montgomery, D. R. (1997). A systematic analysis of eight decades of incipient motion studies, with special reference to gravel-bedded rivers. *Water resources research*, 33 (8), 1993-2029.
6. Beheshti, A. A., & Ataie-Ashtiani, B. (2008). Analysis of threshold and incipient conditions for sediment movement. *Coastal Engineering*, (55), 423-430. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.01.003>
7. Marsh, N. A., Western, A. W., & Grayson, R. B. (2004). Comparison of methods for predicting incipient motion for sand beds. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130 (7), 616-621.
8. Cheng, N. S. (2004). Analysis of bedload transport in laminar flows. *Advances in Water Resources*, 27 (9), 937-942. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.05.010>
9. Camenen, B., & Larson, M. (2005). A general formula for non-cohesive bed load sediment transport. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 63, 249-260. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.10.019>
10. Ouriemi, M., Aussillous, P., Medale, M., Peysson, Y., & Guazzelli, E. (2007). Determination of the critical Shields number for particle erosion in laminar flow. *Physics of Fluids*, 19, 061706, 1-4. DOI:10.1063/1.2747677
11. Talukdar, S., Kumar, B., & Dutta, S. (2012). Predictive capability of bedload equations using flume data. *J. Hydrol. Hydromech.*, 60, 45-56. <https://doi.org/10.2478/v10098-012-0004-5>
12. Chiew, Y.-M., & Parker, G. (1994). Incipient sediment motion on nonhorizontal slopes. *Journal of Hydraulic Research*, 32 (5), 649-660. <https://doi.org/10.1080/00221689409498706>
13. Dey, S., & Debnath, K. (2000). Influence of streamwise bed slope on sediment threshold under stream flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126 (4), 255-263. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2000\)126:4\(255\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:4(255))
14. Emadzadeh, A., Chiew, Y.-M., & Afzalimehr, H. (2010). Effect of accelerating and decelerating flows on incipient motion in sand bed streams. *Advances in Water Resources*, 33, 1094-1104. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.06.014>
15. Talebbeydokhti, N., Hekmatza Deh, A. A., & Rakhshandehroo, G. R. (2006). Experimental modeling of dune bed form in a sand-bed channel. *Iranian Journal of Science & Technology*, 30 (B4), 503-516.
16. Langlois, V., & Valance, A. (2007). Initiation and evolution of current ripples on a flat sand bed under turbulent water flow. *Eur. Phys. J.*, 22, 201-208. <https://doi.org/10.1140/epje/e2007-00023-0>
17. Tjerry, S., & Fredsøe, J. (2005). Calculation of dune morphology. *Journal of Geophysical Research*, 110, F04013, 1-13. <https://doi.org/10.1029/2004JF000171>
18. Sukhodolov, A.N., Fedele, J.J., & Rhoads, B.L. (2006). Structure of flow over alluvial bedforms: an experiment on linking field and laboratory methods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, 1292-1310. <https://doi.org/10.1002/esp.1330>
19. Giri, S., & Shimizu, Y. (2006). Numerical computation of sand dune migration with free surface flow. *Water Resources Research*, 42, W10422, 1-19. <https://doi.org/10.1029/2005WR004588>
20. Paarlberg, A. J., Marjolein Dohmen-Janssen, C., Hulscher, S. J. M. H., & Termes, P. (2009). Modeling river dune evolution using a parameterization of flow separation. *Journal of Geophysical Research*, 114, F01014, 1-17. <https://doi.org/10.1029/2007JF000910>

21. Nabi, M., de Vriend, H. J., Mosselman, E., Sloff, C. J., & Shimizu, Y. (2013). Detailed simulation of morphodynamics: 3. Ripples and dunes. *Water Resources Research*, 49, 1-14. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20457>
22. Grigoriadis, D. G. E., Balaras, E., & Dimas, A. A. (2009). Large-eddy simulations of unidirectional water flow over dunes. *Journal of Geophysical Research*, 114, F02022, 1-19. <https://doi.org/10.1029/2008JF001014>
23. Chang, K., & Constantinescu, G. (2013). Coherent structures in flow over two-dimensional dunes. *Water Resources Research*, 49, 2446-2460. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20239>
24. Jensen, J. H. (2001). Sediment transport and backfilling of trenches in oscillatory flow. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 127 (5), 272-281. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2001\)127:5\(272\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2001)127:5(272))
25. Horban, I.M. (2015). Numerical modeling of the evolution of large-scale inequalities on the river bottom. *Прыкладна гидромеханіка*, 17 (89). (in Ukrainian)
26. Jufin, A. P. (1974). *Hydromechanization*. M.: Strojizdat. (in Russian)
27. USACE Sedimentation investigations of rivers and reservoirs. (1995). Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers. EM 1110-2-4000.
28. Chanson, H. (2004). *The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction*. Oxford, UK: Elsevier Butterworth-Heinemann.
29. Allen, J. R. L. (1970). *Physical processes of sedimentation*. London: George Allen & Unwin Ltd.
30. Kleinhans, M. G. (2004). Sorting in grain flows at the lee side of dunes. *Earth-Science Reviews*, 65, 75-102. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(03\)00081-3](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(03)00081-3)
31. Goncharov, V.N. (1962). *Dynamics of channel flows*. Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izd-vo. (in Russian)
32. Borovkov, V.S. (1989). *Channel processes and dynamics of river flows in urban areas*. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russian)
33. Dobycha nerudnyh stroitel'nyh materialov v vodnyh ob'ektah. Uchet ruslovogo processa i rekomendacii po proektirovaniyu i jekspluatacii ruslovyh kar'erov. (2012). *STO 52.08.31–2012. (Standart organizacii)*. Sankt-Peterburg: Izd-vo «Globus». Retrieved from <http://www.twirpx.com/file/890305/>. (in Russian)

The article was received 23.06.2020 and was accepted after revision 04.09.2020

Горбань Ірина Миколаївна

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу технічної гідромеханіки Інституту гідромеханіки НАН України
Адреса робоча: 03057, Україна, м. Київ, вул. Марії Капніст, 8/4
ORCID ID 0000-0001-9662-2813 **e-mail:** ivgorban@gmail.com

Корольова Анна Сергіївна

кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник відділу технічної гідромеханіки Інституту гідромеханіки НАН України
Адреса робоча: 03057, Україна, м. Київ, вул. Марії Капніст, 8/4
ORCID ID 0000-0003-0693-4552 **e-mail:** kan5nas@gmail.com

Соколовський Георгій Павлович

головний інженер-механік відділу технічної гідромеханіки Інституту гідромеханіки НАН України
Адреса робоча: 03057, Україна, м. Київ, вул. Марії Капніст, 8/4

Романенко Павло Юрійович

головний інженер-гідротехнік відділу гідродинаміки гідротехнічних споруд Інституту гідромеханіки НАН України

Адреса робоча: 03057, Україна, м. Київ, вул. Марії Капніст, 8/4

Срібнюк Степан Михайлович

кандидат технічних наук, професор кафедри архітектури і міського будівництва Національного університету «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка»

Адреса робоча: 36011, Україна, м. Полтава, Первомайський проспект, 24

UDC 624.15:699.841

Yurii Ischenko¹, PhD student, Head of the Department
ORCID ID 0000-0001-6046-8180, *e-mail*: ischenko@ndibk.gov.ua

Andrii Vusatiuk², PhD, researcher
ORCID ID 0000-0002-3096-3188, *e-mail*: avusatiuk@gmail.com

¹ State Enterprise “SE Research Institute of Building Constructions”, Kyiv, Ukraine

² Digital Production LLC, Kyiv, Ukraine

TAKING INTO ACCOUNT DYNAMIC INFLUENCES ON GEOTECHNICAL STRUCTURES IN CONDITIONS OF COMPACTED URBAN BUILDINGS ON THE EXAMPLE OF KYIV

Abstract. *The applied technique of taking into account the dynamic effects on geotechnical structures in the conditions of compacted urban development with direct dynamic calculations taking into account the experimentally obtained accelerograms has been further developed. The methodology includes: visual and vibrodynamic inspection of the new building of the geotechnical structure and existing sources of vibrodynamic influences (taking into account the natural seismic background – seismic zoning of the construction site); construction of a calculation model; performing direct dynamic calculations of anti-landslide structures (pit walls, stress-strain state of the surrounding construction site soil, superstructure, etc.) taking into account the actual experimentally obtained accelerograms for the studied geotechnical structure (superstructure, etc.); analysis of compliance of the received settlement and design data of the new building with the current normative documents on seismic construction; if necessary – issuance of recommendations for strengthening the relevant building structures of the foundation and (or) superstructure. Determination of dynamic characteristics of soil and building structures is based on their free oscillations of small amplitude, which are disturbed by natural or man-made microseisms, includes: registration of oscillations using highly sensitive (in our case – seismic) sensors; calculation and analysis of Fourier spectra in order to isolate resonant peaks corresponding to different forms of free oscillations; obtaining by means of the inverse Fourier transform of pulsed realizations of the selected resonant peaks on each form of free oscillations of designs; identification and graphical representation of various forms of oscillations of the studied soil, geotechnical structures, etc. An example of vibrodynamic studies of the soil and individual building structures of the buildings of the Post Square to determine the actual dynamic loads on the soil and protective walls of the pit of the construction site is considered.*

Keywords: *dynamic certification; protection structures; acceleration; frequency; defects*

© Ю.І. Іщенко, А.Є. Вусатиук, 2020

Ю.І. Іщенко¹, А.Є. Вусатюк²

¹ Державне підприємство «ДП Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» м. Київ, Україна

² ТЗОВ «Діджитал продакшн», м. Київ, Україна

ВРАХУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ВПЛИВІВ НА ГЕОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ В УМОВАХ УЩІЛЬНЕНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ НА ПРИКЛАДІ М. КИЄВА

***Анотація.** Набула подальшого розвитку прикладна методика врахування динамічних впливів на геотехнічні споруди в умовах ущільненої міської забудови при прямих динамічних розрахунках з урахуванням експериментально отриманих акселерограм. Методика включає: візуальне та вібродинамічне обстеження новобудови геотехнічної споруди та існуючих джерел вібродинамічних впливів (з урахуванням природного сейсмічного фону – проведення сейсморайонування майданчика будівництва); побудову розрахункової моделі; виконання прямих динамічних розрахунків протизсувних споруд (стінок котлованів, напружено-деформованого стану оточуючого будівельний майданчик ґрунту, верхньої будови та ін.) з урахуванням фактичних експериментально отриманих акселерограм для досліджуваної геотехнічної споруди (верхньої будови та ін.); аналіз відповідності отриманих розрахункових та проектних даних новобудови чинним нормативним документам по сейсмостійкому будівництву; в разі необхідності – видача рекомендацій щодо підсилення відповідних будівельних конструкцій фундаменту та (або) верхньої будови. Визначення динамічних характеристик ґрунту та будівельних конструкцій відбувається за їх вільними коливаннями малої амплітуди, які порушуються впливом природних або техногенних мікросейсм, включає в себе: реєстрацію коливань за допомогою високочутливих (у нашому випадку – сейсмічних) датчиків; обчислення та аналіз спектрів Фур'є з метою виділення резонансних піків, що відповідають різним формам вільних коливань; отримання за допомогою зворотного перетворення Фур'є імпульсних реалізацій виділених резонансних піків по кожній формі вільних коливань конструкцій; ідентифікація та графічне представлення різних форм коливань досліджуваного ґрунту, геотехнічних конструкцій та ін. Розглянуто приклад вібродинамічних досліджень ґрунту і окремих будівельних конструкцій будівель Поштової площі для визначення фактичних динамічних навантажень на ґрунт та захисні стінки котловану будівельного майданчика.*

***Ключові слова:** динамічна сертифікація; підпірна стінка; прискорення; частота; дефекти*

Вступ

Сейсмічний (динамічний) ризик є неминучим супутником нашої цивілізації і вимагає адекватного реагування. Динамічна паспортизація будівель і споруд (у тому числі протизсувних), таким чином, є першочерговим етапом робіт із забезпечення необхідного і економічно доцільного рівня сейсмостійкості будівельних об'єктів в умовах морального та фізичного зносу, оцінка сейсмічної (динамічної) уразливості будівель і споруд або можливого ступеня їх пошкоджень при динамічних впливах. Питання динамічної паспортизації будівель і споруд (БС), економічної ефективності будівництва з урахуванням

сейсмічних (динамічних) впливів розглядалися в ряді робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників Alonso-Rodriguez A., Anastasopoulos I., Antolini F., Balducci M., Bardi F., Barla M., Basile G., Borja R., Burghignoli A., Burton H., Buttiglia S., Callisto L., Casagli N., Catani F., Chiara A., Ciampalini A., Dao S., Del Ventisette C., Di Traglia F., Frodella W., Gigli G., Kaliukh I., Kalyukh T., Kampas G., Khavkin O., Knappett J., Lacasse S., Liu X.Y., Lollino G., Luzi G., Marienkov N., Martinelli M., Nikitas N., Piccioni R., Polevetskiy V., Regni R., Rathje E., Salvatici T., Senatorov V., Shokrabadi M., Silchenko K., Stewart J., Trofymchuk O., Venanti L.D., Wang Y., White J.A. та ін. [1–17]. У відповідності з їх дослідженнями існуючі методи динамічної паспортизації умовно можна розділити на три групи: методи експертних оцінок, розрахунково-аналітичні методи, методи технічної діагностики. В силу переваг і недоліків, властивих кожному з трьох підходів, методичні проблеми динамічної паспортизації БС можна звести до двох основних проблем. Перша проблема – це коректне визначення критерію при оцінці сейсмостійкості обстежуваних БС. Друга проблема – це визначення необхідного рівня впливу, при якому досліджується динамічна структура БС: мікродинамічний рівень при пружній стадії роботи конструкцій або рівень навантаження, відповідний роботі конструкцій БС за межею пружності.

На жаль, єдиної узаконеної на рівні стандарту методики динамічної паспортизації на сьогоднішній день в Україні не існує. В силу цього, вдосконалення методів динамічних обстежень та математичного моделювання БС для оцінки їх фактичної сейсмостійкості, у т.ч. з урахуванням фізичного зносу конструкцій, є актуальною проблемою для України.

1. Прикладна методика

Пропонується прикладна методика динамічної паспортизації та оцінки технічного стану протизсувних споруд (ПЗС) як підрозділу БС. Методика включає: візуальне та вібродинамічне обстеження ПЗС; побудову розрахункової моделі та виконання розрахунків з урахуванням фактичних акселерограм на динамічні впливи (техногенного та сейсмічного походження); порівняльний аналіз експериментальних та розрахункових даних; рекомендації щодо ремонту та відновлення, подальшої експлуатації ПЗС. Визначення динамічних характеристик за їх вільними коливаннями малої амплітуди, які ініціюються впливом природних (або техногенних) мікросейсм, включає в себе наступні операції:

- реєстрацію коливань ПЗС за допомогою високочутливих (у нашому випадку – акселерометричних) датчиків;
- обчислення та аналіз спектрів Фур'є з метою виділення резонансних піків, що відповідають різним формам вільних коливань; отримання за допомогою зворотного перетворення Фур'є імпульсних реалізацій виділених резонансних піків по кожній формі вільних коливань ПЗС;
- ідентифікація та графічне представлення різних форм коливань конструкцій.

2. Case study. Реконструкція Поштової площі

Поштова площа розташована в центрі Києва, обмежена Набережним шосе вздовж берега річки Дніпро і Володимирським узвозом біля підніжжя

Володимирської гірки, під яким проходять тунелі метрополітену. Площа забудована безліччю будівель, серед яких Поштовий будинок (пам'ятка історії XIX століття, який дав назву площі), церква Різдва Христового, річковий вокзал, група адміністративних споруд початку і середини XX століття (рис. 1).



Рис. 1 – Архітектурний макет Поштової площі після реконструкції

До ускладнюючих геотехнічних умов майданчика відносяться: слабкі водонасичені ґрунти заплавних відкладень р. Дніпро, високий рівень ґрунтових вод, який зрегульований тунелями метрополітену, зсувонебезпечний схил Володимирської гірки. Існуюча забудова, автомобільна дорога і лінія метрополітену обумовлюють підвищені вимоги до проектних рішень з врахування динамічних впливів різної інтенсивності та величини.

Реконструкція Поштової площі є одним з найбільших інфраструктурних проектів в Києві за останні роки (рис. 2). Через площу проходять великі транспортні потоки в напрямку «північ-південь», і відсутність на цій території сучасного транспортного вузла ускладнює автомобільний рух та підсилює відповідні динамічні впливи. Реалізація цього проекту дозволила значно поліпшити транспортне сполучення в центральній історичній частині міста і впорядкувати забудову Подільського району міста з вільним виходом до р. Дніпро. Проект реконструкції передбачав будівництво автомобільного тунелю з рухом в двох напрямках по дві смуги, надземної транспортної естакади (перша черга будівництва), а також двоповерхового підземного торгового комплексу загальною площею близько 8000 м² (друга черга будівництва) та комплексний благоустрій території з влаштуванням скверу та фонтану.



Рис. 2 – Поштова площа під час реконструкції

З огляду на значимість споруди для м. Києва та складність інженерно-геологічних умов будівельного майданчика, проектування і будівництво виконувалось при багатосторонньому науково-технічному супроводі та дотриманні концепції «зеленого будівництва» в умовах ущільненої міської забудови [18, 19]. В процесі робіт вирішувалися проблеми збереження пам'яток історії та архітектури і інших навколишніх будівель, забезпечення надійної експлуатації лінії метрополітену, міцності і надійності споруд, що зводяться, збереження гідрогеологічного режиму території та інші питання. Згідно з рекомендаціями діючих норм при проведенні підготовчих робіт до будівництва і в ході самого будівництва необхідно було виконувати роботи з науково-технічного супроводу об'єкта. Виконання вібродинамічних досліджень на майданчику будівництва є одним з важливих заходів щодо контролю та забезпечення вимог нормативних документів [20–22].

Для визначення фактичних динамічних навантажень на ґрунт і захисні протизсувні конструкції котловану були виконані роботи із вібродинамічних досліджень ґрунту і окремих будівельних конструкцій будівель Поштової площі [23–25].

3. Методика проведення вібродинамічних випробувань несучих конструкцій станції метрополітену та ґрунту майданчика реконструкції

Методика встановлює порядок виконання робіт при динамічних випробуваннях. Розробка методики випробувань виконувалась на основі нормативних документів [20–27]. Методикою передбачено виконання таких завдань:

1. Провести аналіз проектної документації станції метрополітену «Поштова площа» та майданчика реконструкції.

2. Провести вибір та підготовку віброметричної апаратури для динамічних випробувань.

3. Розробити схеми розміщення вібродатчиків для проведення обстежень будівель та ґрунту з врахуванням особливостей руху всіх видів транспорту.

4. Провести записи коливань ґрунту (рис. 3) та конструкцій станції метрополітену (рис. 4).



Рис. 3 – Загальний вигляд віброметричної апаратури під час її тарування при динамічних дослідженнях ґрунту

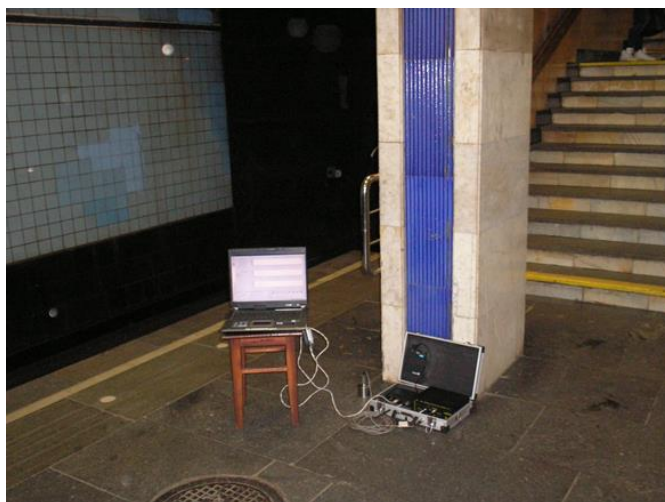


Рис. 4 – Загальний вигляд віброметричної апаратури під час її тарування і при динамічних дослідженнях конструкцій

5. Провести обробку одержаних записів коливань та виконати їх аналіз на основі спектрального методу. Побудувати графіки віброприскорень та їх спектри в реальному часі по кожному із напрямків X ,Y та Z для кожного із об'єктів випробувань.

6. На основі виконаних віброметричних обстежень визначити рівні вібрації ґрунту та конструкцій.

4. Вибір та підготовка віброметричної апаратури для виконання випробувань

Реєстрація вібросигналів виконується однокомпонентними віброперетворювачами (датчики вібрації) моделі 731А фірми „Wilcoxon research” (США). Оцінка рівня коливань об’єктів випробувань проводиться на основі вимірювання віброприскорень за допомогою вказаних датчиків вібрації при динамічних впливах від руху наземного транспорту, потягів метрополітену та при роботі будівельної техніки. В таблиці 1 представлений перелік апаратури, яка використовувалась при вібродинамічних дослідженнях ґрунту та будівельних конструкцій станції метрополітену «Поштова площа».

Таблиця 1 – Склад та комплектність віброметричної апаратури для вібродинамічних випробувань

Найменування приладу	Кількість, шт.	Призначення
Віброперетворювач (датчик вібрації) моделі 731А з кабелем довжиною до 5 м	3	Перетворення механічних коливань в електричний сигнал
Модуль вимірювання низькочастотної вібрації МИНВ-01 (комплектуються спільно з датчиком вібрації)	3	Передача даних вимірювань на базову станцію за допомогою радіосигналу
Ноутбук (живлення автономне)	1	Наявність програмного забезпечення для запису сигналів, обробки даних та візуалізації результатів вимірювань
Програмне забезпечення для запису сигналів, обробки даних та візуалізації результатів вимірювань „Сейсмомоніторинг”	1	Побудова графіків сигналів та їх спектрів для проведення аналізу

Обробка записів коливань проводилась з використанням спеціалізованої програми „Сейсмомоніторинг”, в якій реалізовано спектральний метод обробки вібраційних сигналів [28]. Вказана в табл. 1 віброметрична апаратура повірена в „Укрметртестстандарт”, і видані свідоцтва про проведену повірку.

5. Схеми розміщення вібродатчиків на конструкціях станції метрополітену та ґрунті для виконання вібродинамічних випробувань

В рамках розробленої методики були реалізовані наступні схеми розміщення вібродатчиків для випробувань ґрунту та конструкцій тунелю станції «Поштова площа». Схеми розстановки датчиків вібрації при вібродинамічних дослідженнях ґрунту на Поштовій площі наведені на рис. 5 та 7–9, конструкцій станції метрополітену – на рис. 6.

Призначення кожної з наведених схем: Схема №1 – для вимірювання коливань у вертикальному напрямку на майданчику реконструкції Поштової площі. Схема №2 – для вимірювання коливань у горизонтальному напрямку на майданчику реконструкції Поштової площі. Схема №3 – для вимірювання коливань у вертикальному напрямку на платформі станції «Поштова площа».

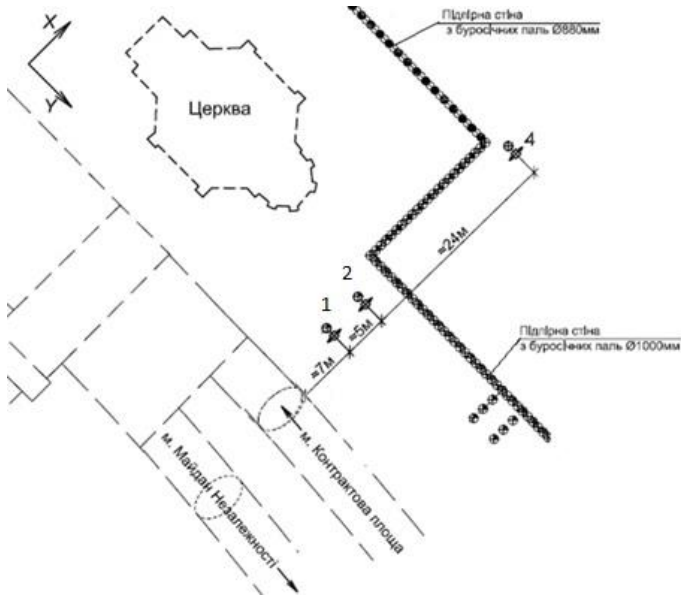


Рис. 5 – Схеми розстановки вібродатчиків: №1 (датчики – вертикально) та №2 (датчики вздовж осі X) на Поштовій площі

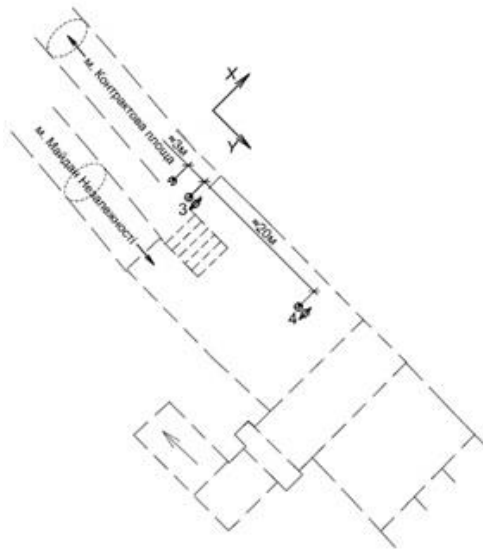


Рис. 6 – Схеми розстановки вібродатчиків на платформі станції і в тунелі: №3 – вимірювання коливань у вертикальному напрямку; №4 – вимірювання коливань у горизонтальному напрямку

Схема №4 – для вимірювання коливань у горизонтальному напрямку на платформі станції «Поштова площа», датчик вібрації (ДВ) №2 орієнтований вертикально, ДВ3 та ДВ4 – горизонтально. Схема №5 – для вимірювання коливань у вертикальному напрямку на майданчику реконструкції Поштової площі. Схема №6 – для вимірювання коливань у горизонтальному напрямку на майданчику реконструкції Поштової площі. Схема №7 – для вимірювання

коливань у вертикальному напрямку на майданчику реконструкції Поштової площі. Схема №8 – для вимірювання коливань у горизонтальному напрямку на майданчику реконструкції Поштової площі. Схема №9 – для вимірювання коливань у вертикальному напрямку на майданчику реконструкції Поштової площі. Схема №10 – для вимірювання коливань у горизонтальному напрямку на майданчику реконструкції Поштової площі.

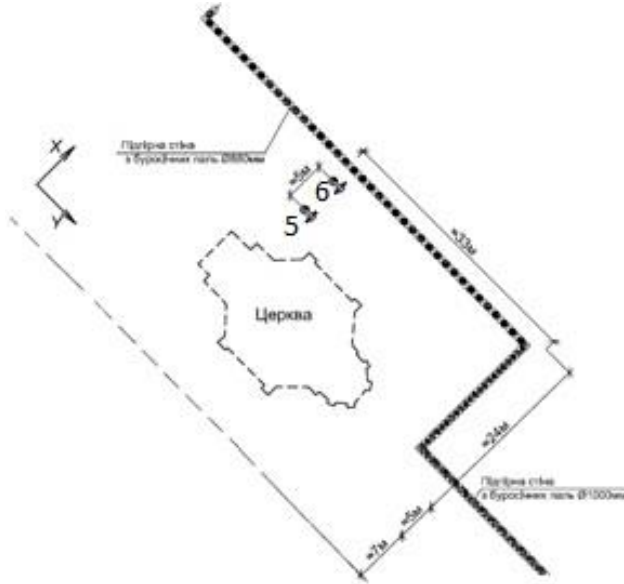


Рис. 7 – Схеми розстановки вібрдатчиків на Поштовій площі (грунт):
№5 – вимірювання коливань у вертикальному напрямку; №6 – вимірювання коливань у горизонтальному напрямку вздовж осі X

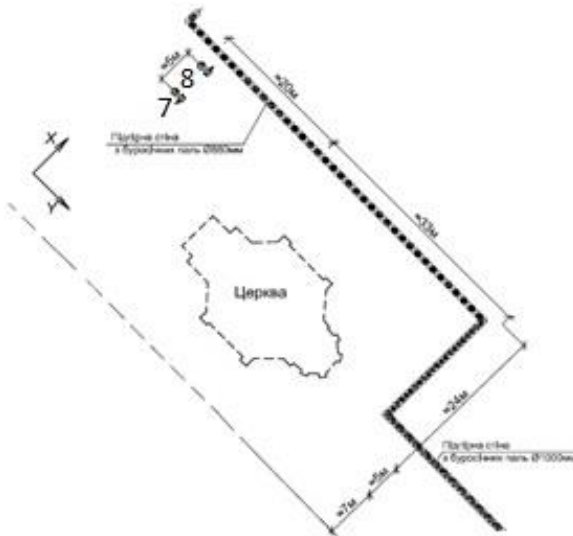


Рис. 8 – Схеми розстановки вібрдатчиків на Поштовій площі (грунт):
№7 – вимірювання коливань у вертикальному напрямку; №8 – вимірювання коливань у горизонтальному напрямку вздовж осі X

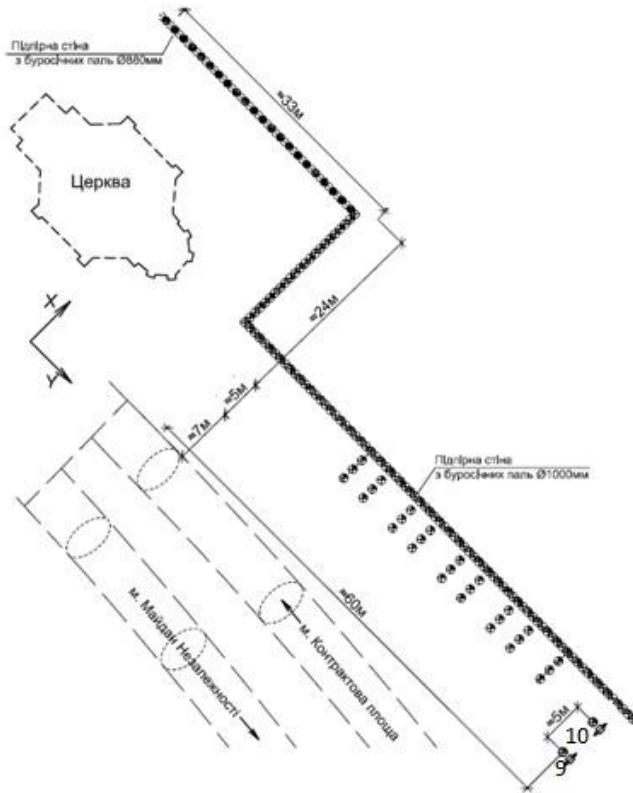


Рис. 9 – Схеми розстановки вібродатчиків на Поштової площі (грунт):
№9 – вимірювання коливань у вертикальному напрямку; №10 – вимірювання коливань у горизонтальному напрямку вздовж осі X

6. Результати вібродинамічних випробувань конструкцій станції метрополітену «Поштова площа»

Вібродинамічні обстеження станції метрополітену «Поштова площа» та ґрунту на майданчику реконструкції були проведені в денний час у квітні 2013 р. Динамічні обстеження станції метрополітену та ґрунту майданчика реконструкції площі здійснювались відповідно до положень розробленої методики. Результати вібродинамічних обстежень включають графіки віброприскорень та їх амплітудні спектри. Динамічний вплив на БС та ґрунт фіксувався безпосередньо при візуальній оцінці наявності автотранспорту на проїзній частині, при роботі будівельної техніки. Динамічний вплив рухомих потягів метрополітену на конструкції визначався на основі проведених записів віброприскорень та при візуальній оцінці.

На рис. 10 та 11 представлений графік часових сигналів вертикальних та горизонтальних віброприскорень конструкцій станції метрополітену «Поштова площа», відповідно.

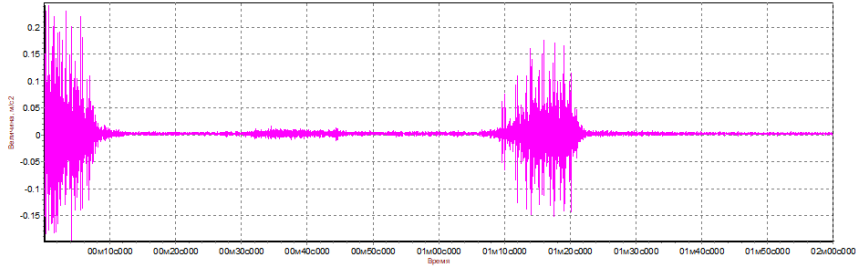


Рис. 10 – Графіки часових сигналів вертикальних віброприскорень конструкцій станції метрополітену «Поштова площа»

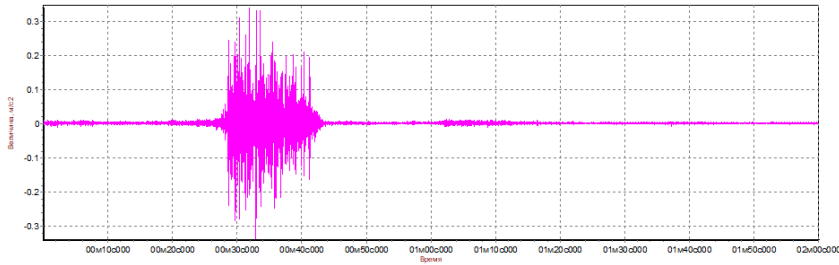


Рис. 11 – Графіки часових сигналів горизонтальних віброприскорень конструкцій станції метрополітену «Поштова площа»

7. Результати вібродинамічних випробувань майданчика реконструкції Поштової площі

При проведенні записів віброприскорень на ґрунті майданчика реконструкції Поштової площі найбільший рівень віброприскорень був зафіксований вібродатчиком ДВ2, що знаходився на мінімальній відстані від лінії метрополітену. При цьому додатковий динамічний вплив на прилеглий ґрунт створювався одночасним впливом рухомого автотранспорту, потягами метрополітену та працюючою будівельною технікою. Графіки горизонтальних та вертикальних часових сигналів віброприскорень ґрунту майданчика реконструкції Поштової площі наведені на рис. 12 та 13, відповідно.

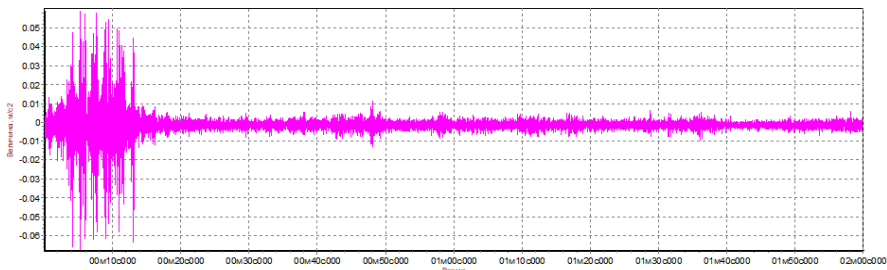


Рис. 12 – Графіки часових сигналів вертикальних віброприскорень майданчика реконструкції Поштової площі

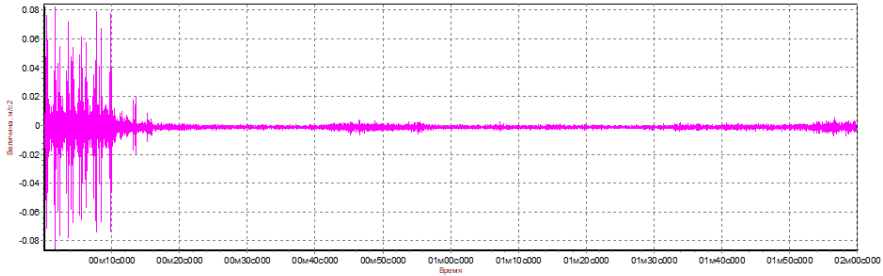


Рис. 13 – Графіки часових сигналів горизонтальних віброприскорень майданчика реконструкції Поштової площі

Амплітудний спектр горизонтальних та вертикальних віброприскорень ґрунту майданчика реконструкції Поштової площі наведено на рис. 14 та 15.

Маркер $f=40.5000$ Гц $A=0.0016$ м/с²

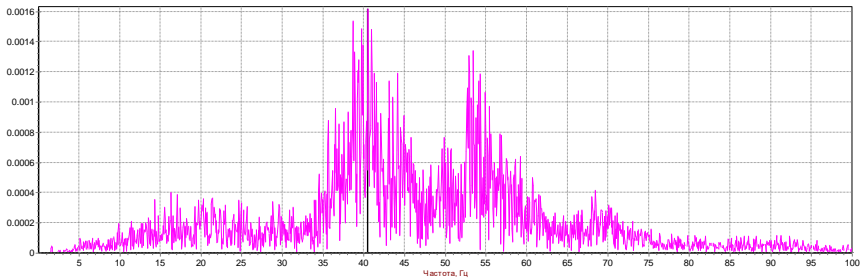


Рис. 14 – Амплітудний спектр вертикальних віброприскорень майданчика реконструкції Поштової площі

Маркер $f=44.8750$ Гц $A=0.0018$ м/с²

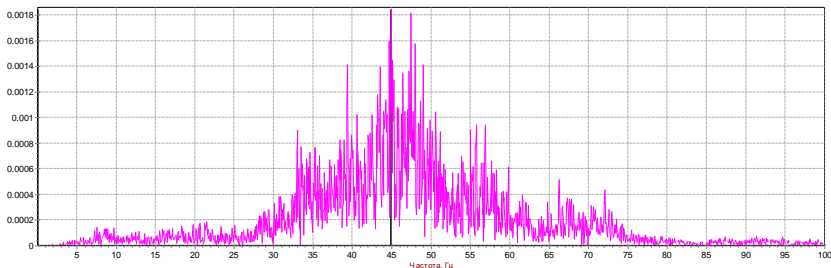


Рис. 15 – Амплітудний спектр горизонтальних віброприскорень майданчика реконструкції Поштової площі

8. Аналіз результатів динамічних обстежень будівельних конструкцій станції метрополітену «Поштова площа» та ґрунту

Максимальні амплітуди віброприскорень при вібродинамічних обстеженнях будівельних конструкцій станції метрополітену та ґрунту майданчика реконструкції Поштової площі наведені в таблиці 2.

Максимальне значення амплітуд віброприскорень з врахуванням одночасної дії всіх видів динамічного впливу, зафіксоване для будівельних конструкцій станції метрополітену «Поштова площа», складас значення

35 см/с² для платформи станції для вертикальної схеми та 30 см/с² для горизонтальної. Максимальне значення амплітуд віброприскорень з врахуванням одночасної дії всіх видів динамічного впливу, зафіксоване для ґрунту майданчика реконструкції Поштової площі, складає 7,3 см/с² для вертикальної схеми та 15,1 см/с² для горизонтальної.

Таблиця 2 – Максимальні амплітуди віброприскорень (см/с²) при вібродинамічних обстеженнях будівельних конструкцій станції метрополітену та ґрунту майданчика реконструкції Поштової площі

Вісь	№ датчика		
	2	3	4
Розташування по схемі 1			
X	–	–	–
Z	7,3	0,19	2,5
Розташування по схемі 2			
X	8,5	15,1	1,4
Z	–	–	–
Розташування по схемі 3			
X	–	–	–
Z	35,0	17,0	30,0
Розташування по схемі 4			
X	–	25	35
Z	30	–	–
Розташування по схемі 5			
X	–	–	–
Z	3,25	3	–
Розташування по схемі 6			
X	1,82	1,68	–
Z	–	–	–
Розташування по схемі 7			
X	–	–	–
Z	3,4	3,1	–
Розташування по схемі 8			
X	1,89	1,75	–
Z	–	–	–

Висновки

За результатами проведених натурних вібродинамічних обстежень конструкції станції метрополітену «Поштова площа», вібродинамічних обстежень ґрунту та стінок котловану майданчика реконструкції при впливах автотранспорту, роботі будівельної техніки та рухомих потягів метрополітену можна зробити наступні висновки:

1. Зареєстровані максимальні значення вертикальних віброприскорень поверхні ґрунту у місці розташування підпірної стінки на майданчику реконструкції Поштової площі з врахуванням одночасної дії автотранспорту, будівельної техніки та потягів метрополітену складає 7,3 см/с². На глибині 13 м розрахункові значення вертикальних прискорень ґрунту дорівнюють 19 см/с². Тому при розрахунках конструкцій підпірної стінки динамічні вертикальні навантаження на її конструкції необхідно додатково врахувати як 2–5% від статичних навантажень (у підсумку враховується 1,05–1,02 статичних навантажень).

2. Зареєстровані максимальні значення горизонтальних віброприскорень поверхні ґрунту у місці розташування підпірної стінки на майданчику реконструкцій Поштової площі з врахуванням одночасної дії автотранспорту, будівельної техніки та потягів метрополітену складає $15,1 \text{ см/с}^2$. На глибині 13 м розрахункові значення прискорень ґрунту дорівнюють 39 см/с^2 . Тому при розрахунках конструкцій підпірної стінки слід додатково врахувати динамічні горизонтальні навантаження на її конструкції як 4–7% від статичних навантажень (*у підсумку враховується 1,07–1,04 статичних навантажень*).

3. Зареєстровані максимальні значення вертикальних віброприскорень конструкцій станції метрополітену «Поштова площа» при русі одного потягу складають 35 см/с^2 . Динамічні вертикальні навантаження на конструкції станції при одночасному русі двох потягів метрополітену не перевищують 9% статичних навантажень.

4. Зареєстровані максимальні значення горизонтальних віброприскорень конструкцій станції метрополітену «Поштова площа» при русі одного потягу складає 30 см/с^2 . Динамічні горизонтальні навантаження на конструкції станції при одночасному русі двох потягів метрополітену не перевищують 8% статичних навантажень.

5. Частоти коливань конструкцій станції метрополітену «Поштова площа» та ґрунту майданчику реконструкції при впливах потягів метрополітену зареєстровані у діапазоні 20–90 Гц.

6. З метою подальшого контролю рівнів вібрації ґрунту і конструкцій станції метрополітену доцільно проводити їх періодичний вібромоніторинг [29–31].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Alonso-Rodriguez A., Nikitas N., Knappett J., Kampas G., Anastasopoulos I., Fuentes R. 2018 System identification of tunnel response to ground motion considering a simplified model. *Frontiers in Built Environment* 4: 1-11.
2. Balducci M., Regni R., Buttiglia S., Piccioni R., Venanti L.D., Casagli N., Gigli G. 2011. Design and built of a ground reinforced embankment for the protection of a provincial road (Assisi, Italy) against rockslide. *Proc. XXIV Conv. Naz. Geotecnica, AGI, Napoli, 22th-24th June 2011*.
3. Barla M., Antolini F., Dao S. 2014. Il monitoraggio delle frane in tempo reale. *Strade e Autostrade* 107: 154–157.
4. Borja R.I., White J.A., Liu X.Y., Wu W. 2011. Factor of safety in a partially saturated slope inferred from hydro-mechanical continuum modeling. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 63(2): 140-154.
5. Casagli N., Catani F., Del Ventisette C., Luzi G. 2010. Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry. *Landslides* 7(3): 291-301.
6. Frodella W., Ciampalini A., Bardi F., Salvatici T., Di Traglia F., Basile G., Casagli N. 2018. A method for assessing and managing landslide residual hazard in urban areas *Landslides*, 15(2): 183-197.
7. Ginzburg L., Shvec V. 1987. *Soil dynamics and mechanics guide*. Kiev: Budivelnik.
8. Gomilko A., Savickii O., Trofymchuk O. 2016. *Dynamics of porous elastic fluid-saturated medium*. Kiev: Naukova Dumka.
9. Highland L., Bobrowsky P. 2008. *The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular.
10. Intrieri E., Gigli G., Gracch T., Nocentini M., Lombardi L., Mugnai F., Frodella W., Bertolini G., Carnevale E., Favalli M., Fornaciai A., Alavedra J. M., Mucchi L., Nannipieri L., Rodriguez-Lloveras X., Pizziolo M., Schina R., Trippi F., Casagli N. 2018

- Application of an ultra-wide band sensor-free wireless network for ground monitoring. *Engineering Geology*, 238: 1-14.
11. Kaliukh I., Senatorov V., Marienkov N., Trofymchuk O., Silchenko K., Kalyukh T. 2015. Arrangement of deep foundation pit in restricted conditions of city build-up in landslide territory with considering of seismic loads of 8 points. *Proceedings XVI ECSMGE, Edinburgh, 13th-17th September 2015*.
 12. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Kaliukh, T., Khavkin, K. 2013. Experimentally-analytical researches of the technical state of reinforce-concrete constructions for defense from landslide's pressure in seismic regions of Ukraine. *Proceedings of the Fib Symposium, Tel-Aviv, 22-24 April 2013*.
 13. Lacasse S. 2013 Terzaghi Oration Protecting society from landslides – the role of the geotechnical engineer. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, September 2-6, 2013*.
 14. Lollino G., Chiara A. 2006. UNESCO World Heritage sites in Italy affected by geological problems, specifically landslide and flood hazard. *Landslides*. 3(4): 311-321.
 15. Martinelli M., Burghignoli A., Callisto L. 2016. Dynamic response of a pile embedded into a layered soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 87: 16-28.
 16. Shokrabadi M., Burton H.V., Stewart J.P. 2018. Impact of Sequential Ground Motion Pairing on Mainshock-Aftershock Structural Response and Collapse Performance Assessment. *Structural Engineering* 144 (10): 04018177.
 17. Trofymchuk O., Kaliukh I., Silchenko K., Polevetskiy V., Berchun V., Kalyukh T. 2015. Use accelerogram of real earthquakes in the evaluation of the stress-strain state of landslide slopes in seismically active regions of Ukraine. In: Lollino G. et al. (eds) *Engineering Geology for Society and Territory. Part 2*. Berlin: Springer-Verlag.
 18. Ваничек І. Применение Еврокода 7 к грунтовым конструкциям // *Світ геотехніки*. – № 4, 2016. С. 4-8.
 19. Фаренюк Г.Г., Калюх Ю.І., Іщенко Ю.І. Концепція «зеленого будівництва» та її застосування при проектуванні та розрахунках геотехнічних конструкцій / Г.Г. Фаренюк, Ю.І. Калюх, Ю.І. Іщенко // *Наука та будівництво*. – 2020, № 2. – С. 19-43.
 20. ДБН В.1.2-5:2007. «Науково-технічний супровід будівельних об'єктів». – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 14 с.
 21. ДБН В.1.2-12:2008. «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки» – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 34 с.
 22. ДБН В.1.2-14:2018. «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» – К.: Укрбудархінформ, 2018. – 30 с.
 23. ДБН В.1.1-2006 "Будівництво у сейсмічних районах України". Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-427>
 24. Ukraine Building Code. 2009. B.2.1-10: 2009. Bases and foundations of facilities. Main provisions of design. Kiev: Dergbud.
 25. USSR Building Code. 1988. 2.02.05:87. Construction norms and rules. Foundations of machines with dynamic loads. Moscow: Stroiizdat.
 26. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011.
 27. ДБН В. 1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006.
 28. Руководство пользователя. Программа «Сейсмомониторинг». – Киев: «Диатос», НТУ «КПИ», 2009.
 29. Kaliukh Iu.I., Klymenkov O.A. and Berchun Y.O. (2016). The Livadia palace monitoring under the changes in the physical and mechanical characteristics of the Central Livadia Landslide System soils. Ecological safety and natural resources. – № 1-2 (21). – P. 69-82.
 30. Trofymchuk O., Kaliukh I., Hlebchuk H. & Berchun V. (2013). Experimental and Analytical Studies of Landslides in the South of Ukraine Under the Action of Natural Seismic Impacts. *Earthquake-Induced Landslides*. – P. 883-892.

31. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., Klymenkov, O. (2017). TXT-tool 2.380-1.1. Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools. Volume 1.* Springer, Cham., 491-508.

Стаття надійшла до редакції 22.04.2020 і прийнята до друку після рецензування 30.06.2020

REFERENCE

1. Alonso-Rodriguez, A., Nikitas, N., Knappett, J., Kampas, G., Anastasopoulos, I., & Fuentes, R. (2018). System identification of tunnel response to ground motion considering a simplified model. *Frontiers in Built Environment*, 4, 1-11.
2. Balducci, M., Regni, R., Buttiglia, S., Piccioni, R., Venanti, L.D., Casagli, N., & Gigli, G. (2011). Design and built of a ground reinforced embankment for the protection of a provincial road (Assisi, Italy) against rockslide. In *Proc. XXIV Conv. Naz. Geotecnica*, AGI, Napoli, 22th-24th June 2011.
3. Barla, M., Antolini, F., & Dao, S. (2014). Il monitoraggio delle frane in tempo reale. *Strade e Autostrade*, 107, 154–157.
4. Borja, R.I., White, J.A., Liu, X.Y., & Wu, W. (2011). Factor of safety in a partially saturated slope inferred from hydro-mechanical continuum modeling. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 63(2), 140-154.
5. Casagli, N., Catani, F., Del Ventisette, C., & Luzi, G. (2010). Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry. *Landslides*, 7(3), 291-301.
6. Frodella, W., Ciampalini, A., Bardi, F., Salvatici, T., Di Traglia, F., Basile, G., & Casagli, N. (2018). A method for assessing and managing landslide residual hazard in urban areas. *Landslides*, 15(2), 183-197.
7. Ginzburg, L., & Shvec, V. (1987). *Soil dynamics and mechanics guide*. Kiev: Budivelnik. (in Russian)
8. Gomilko, A., Savickii, O., & Trofymchuk, O. (2016). *Dynamics of porous elastic fluid-saturated medium*. Kiev: Naukova Dumka. (in Russian)
9. Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular.
10. Intrieri, E., Gigli, G., Gracch, T., Nocentini, M., Lombardi, L., Mugnai, F., et al. (2018). Application of an ultra-wide band sensor-free wireless network for ground monitoring. *Engineering Geology*, 238, 1-14.
11. Kaliukh, I., Senatorov, V., Marienkov, N., Trofymchuk, O., Silchenko, K., & Kalyukh, T. (2015). Arrangement of deep foundation pit in restricted conditions of city build-up in landslide territory with considering of seismic loads of 8 points. In *Proceedings XVI ECSMGE*, Edinburgh, 13th-17th September 2015.
12. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Kaliukh, T., & Khavkin, K. (2013). Experimentally-analytical researches of the technical state of reinforce-concrete constructions for defense from landslide's pressure in seismic regions of Ukraine. In *Proceedings of the Fib Symposium*, Tel-Aviv, April 22-24, 2013.
13. Lacasse, S. (2013). Terzaghi Oration Protecting society from landslides – the role of the geotechnical engineer. In *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris, September 2-6, 2013.
14. Lollino, G., & Chiara, A. (2006). UNESCO World Heritage sites in Italy affected by geological problems, specifically landslide and flood hazard. *Landslides*, 3(4), 311-321.
15. Martinelli, M., Burghignoli, A., & Callisto, L. (2016). Dynamic response of a pile embedded into a layered soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 87, 16-28.
16. Shokrabadi, M., Burton, H.V., & Stewart, J.P. (2018). Impact of Sequential Ground Motion Pairing on Mainshock-Aftershock Structural Response and Collapse Performance Assessment. *Structural Engineering*, 144 (10), 04018177.

17. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., Silchenko, K., Polevetskiy, V., Berchun, V., & Kalyukh, T. (2015). Use accelerogram of real earthquakes in the evaluation of the stress-strain state of landslide slopes in seismically active regions of Ukraine. In: Lollino G. et al. (eds) *Engineering Geology for Society and Territory. Part 2*. Berlin: Springer-Verlag.
18. Vanychek, I. (2016). Prymenenye Evrokoda 7 k hruntovym konstruktsiyam [Application of Eurocode 7 to soil structures]. *Svit heotekhniki*, 4, 4-8. (in Russian)
19. Farenjuk, G.G., Kaljukh, I.I., & Ishhenko, Ju.I. (2020). Konceptija «zelenogo budivnytva» ta i'i' zastosuvannja pry proektuvanni ta rozrahunkah geotekhnichnyh konstrukcij. *Nauka ta budivnytvo*, 2, 19-43. (in Ukrainian)
20. DBN V.1.2-5:2007 «Naukovo-tekhnicnyi suprovid budivelnykh ob'ektiv». (2007). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
21. DBN V.1.2-12:2008 «Budivnytstvo v umovakh ushchilненоi zabudovy. Vymohy bezpeky». (2007). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
22. DBN V.1.2-14:2018. Zagal'ni pryncypy zabezpechennja nadijnosti ta konstruktyvnoi' bezpeky budivel' i sporud. (2018). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
23. DBN V.1.1-2006 Budivnytstvo u sejsmichnyh rajonah Ukrai'ny. Retrieved from: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-427> (in Ukrainian)
24. Ukraine Building Code. B.2.1-10: 2009. (2009). Bases and foundations of facilities. Main provisions of design. Kiev: Dergbud.
25. USSR Building Code. 2.02.05:87. (1988). Construction norms and rules. Foundations of machines with dynamic loads. Moscow: Stroizdart.
26. DBN V.2.6-98:2009. (2011). Betonni ta zalizobetonni konstrukcii'. K.: Ministerstvo regional'nogo rozvytku ta budivnytva Ukrai'ny. (in Ukrainian)
27. DBN V. 1.2-2:2006. (2006). Navantazhennja i vplyvy. Normy proektuvannja. Systema zabezpechennja nadijnosti ta bezpeky budivel'nyh ob'ektiv. Ministerstvo budivnytva, arhitektury ta zhytlovo-komunal'nogo gospodarstva Ukrai'ny. (in Ukrainian)
28. Rukovodstvo pol'zovatel'ja. Programma «Sejsmomonitoring». (2009). Kiev: «Diatos», NTU «KPI». (in Russian)
29. Kaliukh, Iu.I., Klymenkov, O.A., & Berchun, Y.O. (2016). The Livadia palace monitoring under the changes in the physical and mechanical characteristics of the Central Livadia Landslide System soils. *Environmental safety and natural resources*, 1-2 (21), 69-82. (in Ukrainian)
30. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., Hlebchuk, H. & Berchun V. (2013). Experimental and Analytical Studies of Landslides in the South of Ukraine Under the Action of Natural Seismic Impacts. *Earthquake-Induced Landslides*, 883-892.
31. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Klymenkov, O. (2017). TXT-tool 2.380-1.1. Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. Volume 1. Springer, Cham., 491-508.

The article was received 22.04.2020 and was accepted after revision 30.06.2020

Ищенко Юрий Иванович

здобувач, завідувач лабораторії державного підприємства «ДП Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, вул. Преображенська, 5/2

ORCID ID 0000-0001-6046-8180 *e-mail*: ischenko@ndibk.gov.ua

Вусатюк Андрій Євгенович

кандидат технічних наук, дослідник

ТзОВ «Діджитал продакшн»

ORCID ID 0000-0002-3096-3188 *e-mail*: avusatiuk@gmail.com

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київському національному університету будівництва і архітектури.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Киевскому национальному университету строительства и архитектуры.

Copying © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv National University of Construction and Architecture. All rights reserved.

ДО УВАГИ АВТОРІВ ЗБІРНИКА

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню збірника.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова (не менше п'яти) трьома мовами (українською, російською та англійською).

Підготовка статті здійснюється в текстовому редакторі MS WORD for WINDOWS, з використанням шрифту Times New Roman, Суг, кегль 11, одинарний інтервал, полями 2,0 см з кожного боку, заданим розміром сторінок 17x26 см.

Усі формули мають бути набрані в редакторі MathType.

Ілюстрації повинні обов'язково нумеруватися, мати книжкову орієнтацію і не можуть перевищувати за розміром задану сторінку (параметри сторінки 17x26 см з полями 2,0 см). Перелік літературних джерел перекладається англійською мовою (або транслітерується в романському алфавіті) і подається відповідно до міжнародного стандарту оформлення наукових публікацій **APA (American Psychological Association) style** загальним списком у кінці статті за чергою посилань у тексті.

Наприкінці статті наводиться коротка довідка про авторів, де вказуються прізвище, повне ім'я та по батькові авторів, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, особисті дані кожного з авторів (адреса, місто, країна, контактний телефон, e-mail), ORCID ID.

Обов'язково слід надати електронну версію статті в редакторі Microsoft Word.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами збірника, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ збірника, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником. Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія збірника.

Електронна версія збірника, правила оформлення та вимоги до статей містяться в Інтернеті на сайті <http://www.es-journal.in.ua>, який систематично оновлюється.

Збірник наукових праць також представлений на сайті Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність» та на сайті бібліотеки Київського національного університету будівництва і архітектури <http://library.knuba.edu.ua/node/883>.

Редактор – В.П. Берчун

Надруковано в ТОВ «Видавництво «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36а.
Тел.: (044) 360-22-66
www.yuston.com.ua

**Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія дк № 497 від 09.09.2015 р.**

Підписано і здано до друку 17.09.2020. Формат 70x108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 9.8
Обл.-вид. арк. 10.4
Замовлення № ____

Тираж 300 примірників