

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 36

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 4 (36), жовтень-грудень 2020 р.

Заснований у 2008 р.
Виходить 4 рази на рік

Academic journal

Issue 4 (36), October-December 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.
Коржнів 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 № 36 від 17.12.2020 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

Гунченко О.М., Волошкіна О.С., Кравченко М.В., Корінний В.І. Система менеджменту екологічної безпеки – як одна із складових енергетичної ефективності.....	5
Крывомаз Т., Chmielewska Ju., Kanashchuk T. The prospects of green building developing in Ukraine on example of Poland...	20
Кириєнко П.Г., Клочко Т.О., Хоменко І.Є., Дурневич Г.М. Дослідження міграції важких металів у рослинних відходах сільського господарства.....	32

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Кривомаз Т.І., Варавін Д.В. Шляхи підвищення екобезпеки урбанізованого середовища у зв'язку з пандемією Covid-19.....	41
Коцюба І.Г., Лико С.М., Лук'янова В.В., Анпілова Є.С. Науково-теоретичне обґрунтування накопичення твердих побутових відходів Житомирщини	56

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

Щипцов О.А., Крета Д.Л., Лебідь О.Г., Шевякіна Н.А. Використання результатів дистанційного зондування Землі в задачах моніторингу навігаційно-гідрографічної обстановки.....	66
Яковлев В.В., Воскобійник В.А., Хомицький В.В., Ткаченко В.О., Воскобойник О.А., Терещенко Л.М., Воскобійник А.В., Бондар В.В. Вплив глибини акваторії на вітрові хвилі.....	77
ДО ВІДОМА АВТОРІВ.....	89

CONTENTS

ENVIRONMENTAL SAFETY

- Hunchenko O.M., Voloshkina O.S., Kravchenko M.V., Korinnyi V.I.**
Environmental safety management system – as one of the components of energy efficiency..... 5
- Kryvomaz T., Chmielewska Ju., Kanashchuk T.**
The prospects of green building developing in Ukraine on example of Poland..... 20
- Kyrienko P.G., Klocko T.O., Khomenko I.Y., Durnevich G.M.**
Analysis of heavy metal migration in vegetable agricultural waste..... 32

NATURAL RESOURCES

- Kryvomaz T.I., Varavin D.V.**
Ways to improve the environmental safety of the urbanized environment in connection with the Covid-19..... 41
- Kotsiuba I., Lyko S., Lukianova V., Anpilova Ye.**
Scientific and theoretical justification of solid household waste accumulation in Zhytomyr Region 56

INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

- Shchypstov O.A., Kreta D.L., Lebid O.G., Sheviakina N.A.**
Use of remote sensing results in the tasks of navigational and hydrographic situation monitoring..... 66
- Yakovlev V.V., Voskoboinick V.A., Khomicky V.V., Tkachenko V.O., Voskoboinyk O.A., Tereshchenko L.M., Voskoboinick A.V., Bondar V.V.**
Influence of water area depth on wind waves..... 77
- INFORMATION FOR AUTHORS..... 89**

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

UDC 338.24:658:005.935:504

Oksana M. Hunchenko, PhD (Tech.), Professor
ORCID: 0000-0002-5769-2496 *e-mail*: gunchenko.oksana@gmail.com

Olena S. Voloshkina, Dr. Sc. (Tech.), Professor
ORCID: 0000-0002-3671-4449 *e-mail*: e.voloshki@gmail.com

Marina V. Kravchenko, PhD (Tech.), Associate Professor
ORCID: 0000-0003-0428-6440 *e-mail*: marina-diek@ukr.net

Volodymyr I. Korinnyi, Assistant Professor
ORCID: 0000-0001-8486-7493 *e-mail*: korinnyi.vi@knuba.edu.ua

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ENVIRONMENTAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM – AS ONE OF THE COMPONENTS OF ENERGY EFFICIENCY

Abstract. *The article substantiates the relationship between environmental safety and energy efficiency – as the main components on the way to sustainable development of society. The existing approaches to defining the essence of environmental safety are considered, its characteristic features are detailed, the basic practical principles of its provision are substantiated, and promising directions for the further development of the international environmental safety system are shown. The general scheme of the organization of the ecological safety system in the normal state of the environment is presented, which should be based on three components: control, regulation and implementation of safety measures. It is shown that maximum efforts should be directed to making management decisions based on the analysis of existing risks and forecasting new potential threats, which are an integral part of human activity. An important stage in a productive management system is the use of the best available technologies, which does not require strict regulation of activities and provides the freedom to choose ways to achieve this goal, based on the latest technological and technological solutions. organizational developments and their successful combination. Competitive advantages and a number of disadvantages from the introduction of an environmental management system at an enterprise, in particular in the energy sector, have been substantiated. The article presents the main laws of Ukraine in the field of environmental safety, as well as the state standards of Ukraine in the series of international standard ISO 14000. The main stages of management in the field of environmental safety, based on the Shuhard-Deming cycle, are summarized and presented in the model of the environmental safety management standard DSTU ISO 14001:2015.*

Keywords: *environmental safety; energy efficiency; management; sustainable development; best available technologies; legal framework*

О.М. Гунченко, О.С. Волошкіна, М.В. Кравченко, В.І. Корінний

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

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ – ЯК ОДНА ІЗ СКЛАДОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

***Анотація.** У статті обґрунтовано зв'язок між екологічною безпекою та енергетичною ефективністю – як основними складовими на шляху до сталого розвитку суспільства. Розглянуто існуючі підходи до визначення сутності екологічної безпеки, деталізовано її характерні риси, обґрунтовані основні практичні принципи її забезпечення, а також показані перспективні напрямки подальшого розвитку системи міжнародної екологічної безпеки. Наведено загальну схему організації системи екологічної безпеки при звичайному стані навколишнього середовища, яка має опиратися на три складові: контроль, регулювання і впровадження заходів безпеки. Показано, що максимальні зусилля мають бути зосереджені на прийнятті управлінських рішень на підставі аналізу існуючих ризиків та прогнозу нових потенційних загроз, які є невід'ємною складовою діяльності людини. Важливим етапом продуктивної системи менеджменту є використання найліпших доступних технологій, який не потребує жорсткої регламентації діяльності та надає свободу вибору шляхів досягнення поставленої цілі, спираючись на надсучасні технологічні та організаційні розробки та їх вдале поєднання. Обґрунтовані конкурентні переваги та ряд недоліків від впровадження системи екологічного управління на підприємстві, зокрема в галузі енергетики. В роботі наведені базові закони України в галузі екологічної безпеки, а також державні стандарти України серії міжнародного стандарту ISO 14000. Узагальнено основні етапи менеджменту в сфері екологічної безпеки, які опираються на цикл Шухарда-Демінга та представлені в моделі системи управління екологічною безпекою за стандартом ДСТУ ISO 14001:2015.*

***Ключові слова:** екологічна безпека; енергетична ефективність; менеджмент; сталий розвиток; найліпші доступні технології (НДТ); законодавча база*

Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку цивілізації проблема взаємодії енергетики і довкілля набуває нових аспектів, впливаючи при цьому на великі території, на атмосферу й гідросферу Землі, а також на безпеку життєдіяльності людини.

Зростання масштабів розвитку енергопостачання й енергоспоживання в майбутньому зумовляють подальше інтенсивне зростання їхнього всебічного впливу на всі компоненти екологічної безпеки в глобальному масштабі.

Тому постає проблема постійного контролю та управління рівнем екологічної безпеки в усіх сферах людської діяльності, у тому числі і в сфері енергетики.

Європейська агенція довкілля [1] виокремлює ряд екологічних проблем та секторів діяльності, серед яких є галузь енергетики, та у яких проблеми екологічної безпеки і, особливо, система менеджменту екологічної безпеки – потребують найбільшої уваги.

Екологічна безпека безумовно впливає на якість життя людини та економічні й соціальні показники розвитку суспільства, тому потребує постійної актуалізації та корегування.

Актуальність дослідження

Головною метою екологічної безпеки держави є: розробка та впровадження концептуально обґрунтованої стратегії енергетичної ефективності, раціонального природокористування та захисту навколишнього середовища з метою створення гармонійного середовища для існування біологічного різноманіття та, головне, сталого розвитку суспільства. По суті своїй екологічна безпека є запобіжником у питаннях вирішення екологічних проблем й основою створення передумов для збереження рівноваги між антропологічним впливом та природними катастрофами, зменшуючи їх обумовленість.

Енергетичний менеджмент – це постійно діюча система управління енергоспоживанням, яка дає змогу оптимізувати обсяги енерговитрат, прогнозувати і контролювати процеси вироблення, транспортування та використання необхідної кількості енергоресурсів для забезпечення ефективної господарської діяльності об'єктів господарювання. Це інструмент, який створює можливість скоротити споживання енергії, підвищити ефективність її використання, а також знизити негативний вплив енергетики на довкілля, що входить в компетенції системи менеджменту екологічної безпеки [2].

На сьогоднішній день проблема забезпечення прийняттого стану навколишнього середовища набула глобального характеру і стоїть в переліку основних загроз для забезпечення сталого розвитку людства. Тому актуальність проблеми управління в сфері екологічної безпеки і, зокрема, в сфері енерговиробництва та енергоспоживання не викликає сумніву.

Останні дослідження та публікації

Питання екологічної безпеки, завдяки своїй актуальності, привертає на сьогодні увагу багатьох науковців.

Так, А.Б. Качинський у своїй роботі [3] виділяє ряд характерних рис екологічної безпеки:

- екологічна безпека виявляється у локальних, регіональних та глобальних масштабах;
- передбачає розумне задоволення екологічних потреб для всіх людей та суспільства і гарантує проживання в екологічно безпечному середовищі, яке сприяє безпечній життєдіяльності;
- розв'язання екологічних проблем дуже часто пов'язано з вирішенням інших аспектів національної безпеки;
- має суб'єктно-об'єктний характер, тобто має задовольняти інтереси як суспільства, так і навколишнього середовища;
- не може бути сформована через пригнічення чийось екологічних прав;
- має ґрунтуватись на фундаментальних еколого-соціальних та біосферних закономірностях, що мають комплексний характер.

Основні практичні принципи забезпечення екологічної безпеки, запропоновані В.С. Луцько в роботі [4] ще у 2000 році, й сьогодні є актуальними, серед яких слід звернути увагу на такі:

- дотримання встановлених державою та її суб'єктами допустимих рівнів впливу на навколишнє природне середовище і людину;
- проведення раціонального природокористування, при якому ресурсне забезпечення у рівній мірі задовольняє інтереси нині живучих і майбутніх поколінь;
- обов'язковість компенсації нанесених здоров'ю людини і природі втрат;
- адміністративно-територіальна та транскордонна відповідальність за шкоду екосистемам та населенню;
- своєчасне виявлення та відновлення порушених екосистем і природних комплексів;
- збереження біологічної різноманітності;
- дотримання розумної достатності й допустимості ризику при здійсненні будь-якої діяльності.

До числа глобальних екологічних проблем Є.П. Буравльов включає широкомасштабне забруднення океану; забруднення повітряного простору; знищення лісів; зменшення біологічної різноманітності та глобальні зміни клімату [5]. А серед головних перспективних напрямків подальшого розвитку системи міжнародної екологічної безпеки автор приділяє увагу таким: подальша глобалізація у відповідності з новими тенденціями та з пріоритетом сталого розвитку; розширення участі та підвищення ролі всіх регіональних, національних, міжурядових, неурядових організацій в діяльності по охороні довкілля; розширення співробітництва і кооперації в цій галузі; подальша інтеграція природоохоронної діяльності в рамках ООН та її установ, фінансова підтримка цих установ з боку розвинених країн.

У монографії [6] автором А.О. Олексюк було проведено дослідження та узагальнено підходи до тлумачень вченими суті екологічної безпеки з позиції врахування у ньому ключових об'єктів екологічної безпеки, згідно з якими деякі вчені розглядають екологічну безпеку з позицій відсутності зовнішніх загроз, а інші – виділяють серед об'єктів не лише людину, але і біосферу, що дає поєднання антропоцентричного та біоцентричного підходів.

В роботі [7] автором проведено обґрунтування екологічного менеджменту в контексті екологічної безпеки підприємства з визначенням інтегральних показників економічної безпеки підприємства.

Формулювання цілей статті

Мета роботи полягає в узагальненні змістовного наповнення екологічної безпеки в системі менеджменту підприємства, що є складовою системи глобальної екологічної безпеки та енергетичної ефективності, а також в обґрунтуванні основних етапів організації системи екологічної безпеки при звичайному стані навколишнього середовища.

Основна частина

Екологічна безпека – це такий стан та умови навколишнього природного середовища, при якому забезпечується екологічна рівновага та гарантується захист навколишнього середовища: біосфери, атмосфери, гідросфери, літосфери, космосфери, видового складу тваринного і рослинного світу, природних ресурсів, збереження здоров'я і життєдіяльності людей [8].

Екологічна безпека має бути зорієнтованою на вирішення проблемних питань у своїй сфері як при звичайному стані системи, так і в умовах кризового, катастрофічного чи посткатастрофічного стану. Дії в цьому напрямку можуть бути ефективними завдяки прогнозуванню подій та розробці дерева подій і дерева ризиків.

Загальна схема організації системи екологічної безпеки при звичайному стані навколишнього середовища має спиратися на три складові:

- контроль;
- регулювання;
- розробку та впровадження заходів безпеки, які мають досить розгалужену систему (рис. 1), де в окрему галузь виділяється розвиток альтернативних джерел енергії.

Слід зазначити, що максимальні зусилля мають бути зосереджені на прийнятті управлінських рішень на підставі аналізу існуючих ризиків та прогнозу нових потенційних загроз, які є невід'ємною складовою діяльності людини, що стрімко трансформується та генерує нові форми впливу на оточуюче середовище і людину.

Сучасний тренд продуктивного менеджменту – це використання найліпших доступних технологій (НДТ), який не потребує жорсткої регламентації діяльності та надає свободу вибору шляхів досягнення поставленої цілі, спираючись на надсучасні технологічні та організаційні розробки та їх вдале поєднання.

Інтеграція крупних систем менеджменту є інструментом, який більш коректно може бути застосований на великих підприємствах, орієнтованих на закордонні ринки збуту.

Для малих та середніх підприємств більш ефективним є впровадження НДТ, бо цей шлях дозволяє отримати зростання прибутковості та відносно низький період окупності і не потребує залучення фахівців із суміжних сфер менеджменту. Але процеси перетворення, модернізації, актуалізації в сфері екологічної безпеки є невідворотними, бо результатом вже накопичених та нових екологічних проблем є зниження якості життя населення, збільшення захворюваності та передчасних летальних наслідків і, як наслідок, – зниження темпів економічного зростання. Фахівці оцінюють щорічні збитки від деградації навколишнього середовища на рівні 4–6% ВВП.

У якості сучасних загрозливих викликів також слід згадати старіння нації, збільшення навантаження на працездатне населення, неконтрольовані міграційні процеси, зміну орієнтирів розвитку для нових поколінь, появу нових технологічних розробок, ускладнення виробничих процесів, використання діджитал-платформ та появу нових професій, що створює запит на нові знання та навички.

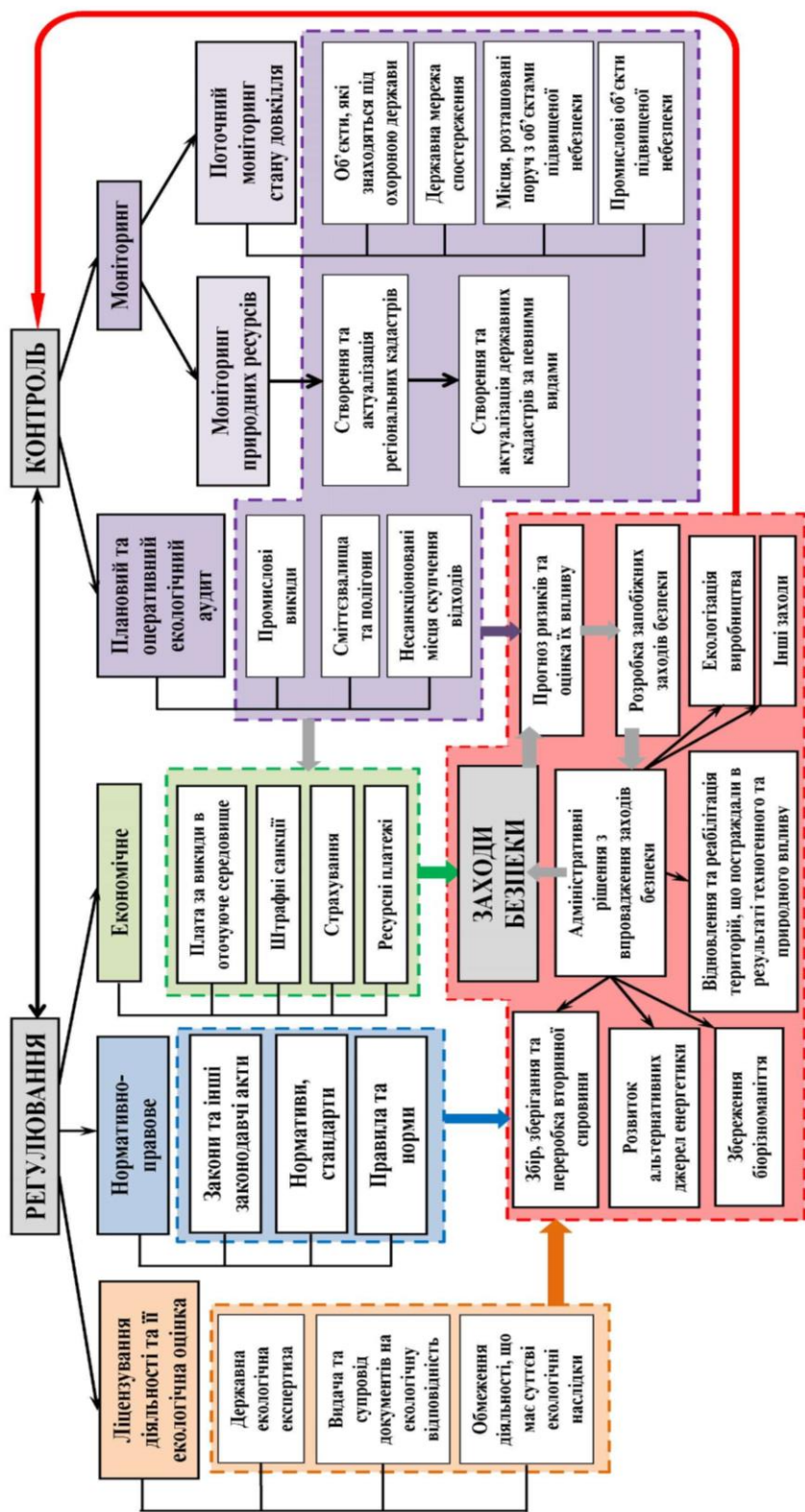


Рис. 1 – Загальна схема організації системи екологічної безпеки при звичайному стані навколишнього середовища

Система менеджменту екологічної безпеки підприємства є складовою системи глобальної екологічної безпеки, так як екологічні загрози все частіше розширюють зони впливу за межі локалізації осередку впливу та з легкістю долають адміністративні кордони, тому неузгодженість законодавства різних країн чи напрямків діяльності стає додатковим фактором збільшення загрози та створює перешкоди для реалізації прийнятих адміністративних рішень.

Україна впевнено намагається інтегруватися до системи міжнародної безпеки, одним з аспектів якої є екологічна безпека. На сьогодні в Україні діє низка нормативних документів, що регламентують вирішення екологічних питань на глобальному рівні, це – фундаментальні закони в галузі екологічної безпеки, стандарти серії ISO 14000 та нормативні документи на рівні промислових галузей (табл. 1, табл. 2).

Таблиця 1 – Базові закони України в галузі екологічної безпеки

Назва	Дата прийняття	Початок дії останньої редакції
1	2	3
Закон України від 26.06.1991 № 1268-ХІІ «Про охорону навколишнього природного середовища»	26.06.1991	16.10.2020
Земельний кодекс України від 20.12.2001 № 2905-ІІІ	20.12.2001	16.10.2020
Водний кодекс України від 06.06.95 № 214/95-ВР	06.06.1995	16.10.2020
Кодекс про надра України від 27.07.94 № 133/94-ВР	27.07.1994	16.10.2020
Лісовий кодекс України від 21.01.94 № 3853-ХІІ	21.01.1994	03.07.2020
Закон України «Про охорону атмосферного повітря» № 2708-ХІІ від 16.10.92	16.10.1992	16.10.2020
Закон України «Про тваринний світ» від 13.12.2001 № 2894-ІІІ	13.12.2001	07.06.2020
Закон України «Про рослинний світ» від 09.04.1999 № 591-ХІV	09.04.1999	07.06.2020
Закон України від 28.02.2019 № 2697-VІІІ «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року»	28.02.2019	01.01.2020
Закон України від 23.05.2017 № 2059-VІІІ «Про оцінку впливу на довкілля»	23.05.2017	17.07.2020
Закон України від 20.03.2018 № 2354-VІІІ «Про стратегічну екологічну оцінку»	20.03.2018	01.01.2020
Закон України від 01.07.2015 № 562-VІІІ «Про ратифікацію Протоколу про стратегічну екологічну оцінку до Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті»	01.07.2015	26.07.2015

Продовження таблиці 1

1	2	3
ДСТУ-Н Б Б.1.1-10:2010 Настанова з виконання розділів «Охорона навколишнього природного середовища у складі містобудівної документації. Склад та вимоги»	28.12.2010	01.10.2011
ДСТУ 7738:2015 «Безпека екологічна та техногенна. Терміни та визначення понять»	22.06.2015	01.01.2016
Постанова від 31.10.2018 № 913 «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр і визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) Державною службою геології та надр»	31.10.2018	14.11.2018
Постанова від 05.03.1998 № 188/98-ВР «Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки»	05.03.1998	05.03.1998
Конвенція «Про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля»	25.06.1998	27.05.2005

Таблиця 2 – Державні стандарти України серії ISO 14000

Назва	Дата прийняття	Початок дії
1	2	3
ДСТУ ISO 14001:2015 Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT)	21.12.2015	01.07.2016
ДСТУ ISO 14004:2016 Системи екологічного управління. Загальні настанови щодо запровадження (ISO 14004:2016, IDT)	13.12.2016	01.10.2017
ДСТУ ISO 14005:2015 Системи екологічного управління. Настанови щодо поетапного запровадження системи екологічного управління, використовуючи оцінювання екологічних характеристик (ISO 14005:2010, IDT)	21.12.2015	01.01.2017
ДСТУ ISO 14015:2005 Екологічне управління. Екологічне оцінювання ділянок та організацій (ISO 14015:2001, IDT)	30.06.2005	01.08.2007
ДСТУ ISO 14020:2003. Екологічні маркування та декларації. Загальні принципи	11.06.2003	01.07.2004
ДСТУ ISO 14021:2016 Екологічні маркування та декларації. Екологічні самодекларації (екологічне маркування типу II) (ISO 14021:2016, IDT)	13.12.2016	01.10.2017

Продовження таблиці 2

1	2	3
ДСТУ ISO 14024:2002 Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та методи	18.09.2002	01.07.2004
ДСТУ ISO 14031:2016 Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови (ISO 14031:2013, IDT)	13.12.2016	01.10.2017
ДСТУ ISO/TS 14033:2016 Екологічне управління. Кількісна екологічна інформація. Настанови та приклади (ISO/TS 14033:2012, IDT)	13.12.2016	01.10.2017
ДСТУ ISO 14040:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO 14040:2006, IDT)	29.11.2013	01.07.2014
ДСТУ ISO 14041:2004. Екологічне керування оцінювання життєвого циклу. Визначання цілі і сфери застосування та аналізування інвентаризації (ISO 14041:1998, IDT)	02.08.2004	01.01.2006
ДСТУ ISO 14044:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Вимоги та настанови (ISO 14044:2006, IDT)	09.01.2013	01.07.2014
ДСТУ ISO 14050:2016 Екологічне управління. Словник термінів (ISO 14050:2009, IDT)	30.03.2016	01.07.2017
ДСТУ ISO 14051:2015 Екологічне управління. Обліковування витрат, пов'язаних із матеріальними потоками. Загальні принципи та структура (ISO 14051:2011, IDT)	21.12.2015	01.01.2017
ДСТУ ISO/TR 14062:2006 Екологічне управління. Враховування екологічних аспектів у проектуванні та розроблянні продукції (ISO/TR 14062:2002, IDT)	27.12.2006	01.01.2008

Згідно з міжнародним стандартом ISO 14001, впроваджуються системи екологічного менеджменту як частини загальної системи менеджменту, що дозволяє встановити екологічні аспекти організації та їх вплив на навколишнє природне середовище, забезпечує порядок і послідовність вирішення підприємством екологічних проблем, з використанням таких інструментів, як екологічна політика; планування природоохоронної діяльності відповідно до прийнятої екологічної політики; організація діяльності в системі екологічного менеджменту; внутрішні перевірки і коригування діяльності; аналіз результатів роботи та перегляд системи екологічного менеджменту; демонстрація досягнутих у системі екологічного менеджменту результатів та їх послідовне поліпшення [9].

Менеджмент в сфері екологічної безпеки спирається на цикл Шухарда-Демінга (PDCA), як і системи менеджменту якості й безпеки і гігієни виробничих процесів, та передбачає неперервний циклічний процес, що надає можливість організації розробити, запровадити і підтримувати екологічну політику, в основу якої покладено лідерство та зобов'язання найвищого

керівництва щодо системи екологічного управління [10]. Основні етапи цього процесу є стандартними та реалізуються у такій послідовності:

1. Планування (P) – встановлення цілей та процесів, необхідних для отримання результатів, що відповідають екологічній політиці організації.
2. Підтримка функціонування (D) – запровадження процесів.
3. Оцінка дієвості (C) – відстеження і вимірювання процесів, зважаючи на екологічну політику, цілі, завдання, правові та інші вимоги, а також складання звітної документації про її результати.
4. Запровадження дій (A) – впровадження заходів для постійного поліпшення характеристик системи екологічного менеджменту.

Модель системи управління екологічною безпекою за стандартом ДСТУ ISO 14001:2015 наведена на рис. 2.



Рис. 2 – Модель системи управління екологічною безпекою за стандартом ДСТУ ISO 14001:2015 [10]

Описані етапи співпадають з системою управління безпекою і гігієною виробничих процесів, так як обидві ці системи побудовані на базі системи управління якістю за стандартом ISO 9001 та можуть використовуватись підприємством одночасно чи створювати інтегровані системи менеджменту різних за конфігураціями та охопленням сфер впливу.

Екологічна безпека – це, з одного боку, стан захищеності від негативних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища, з іншого – його здатність швидко усувати загрози та забезпечувати своє функціонування на основі ефективних техніко-технологічних та управлінських інновацій.

Впровадження системи екологічного управління підприємства, зокрема в галузі енергетики, додає йому ряд конкурентних переваг:

- поліпшення іміджу підприємства на регіональному і міжнародному рівні та розширення ринків збуту;
- економія енерго- та водоспоживання;
- зниження виплат при зменшенні утворення відходів;
- захист від штрафів і невдоволення з боку громадськості;
- підвищення статусу соціально відповідального виробництва;
- вирішення екологічних проблем з мінімальними фінансовими витратами.

Можливі недоліки:

- значна робота з отримання і збереження сертифікації;
- витрати зі збереження сертифікації;
- потенційна втрата сертифікації.

Стрімкий розвиток та впровадження зазначеного стандарту з 330 тис. сертифікатів у 1999 році до майже 11 млн у 2016 році та зниження їх кількості до 10,5 млн у 2017 році безумовно сприяло впровадженню нових форм організації виробництва, підвищенню якості продукції та розробці інших стандартів ISO, таких як ISO 14001, кількість сертифікатів за яким збільшилась у 25,6 разів за цей же період (рис. 3).

Вказана тенденція до зростання характерна і для країн Європи та України, але якщо для розвинених країн Європи характерним було поступове зростання з незначним зниженням, то в Україні цей процес є доволі не прогнозованим, хоча й має тенденцію до зростання (рис. 4).

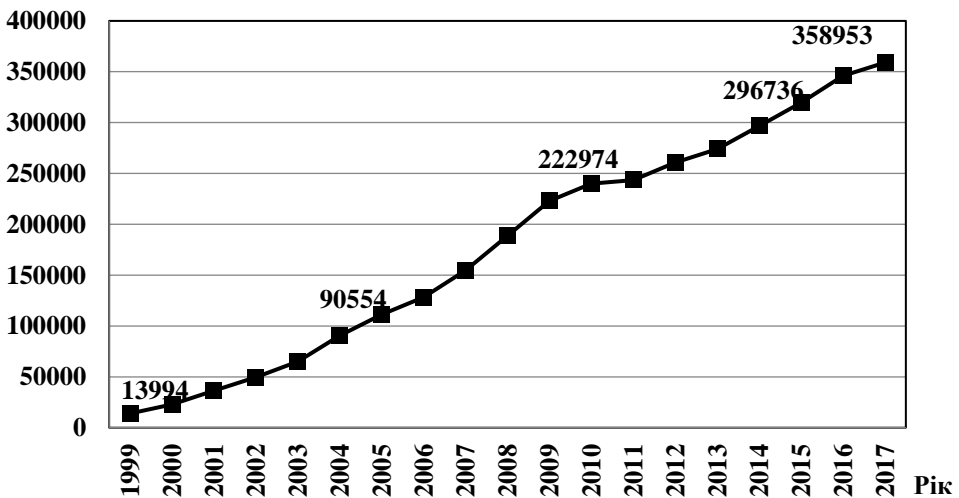


Рис. 3 – Кількість сертифікованих підприємств за стандартом ISO 14001 в світі з 1999 р. по 2017 р. [11]

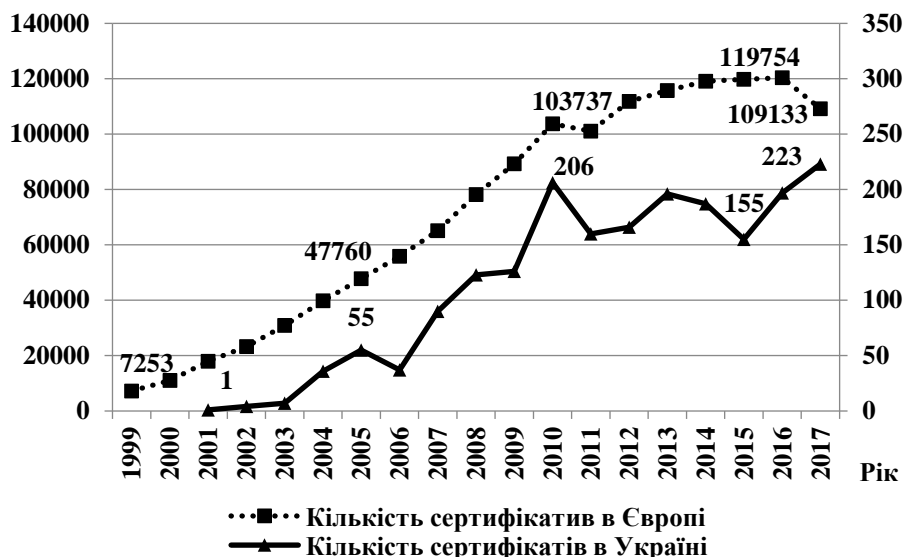


Рис. 4 – Кількість сертифікованих підприємств за стандартом ISO 14001 в Європі та Україні з 1999 р. по 2017 р. [11]

За час з моменту впровадження зазначеного стандарту вперше світ докорінно змінився, але пріоритетною й досі є спрямованість на екологізацію та безпеку. Тому, більше 10000 провідних компаній по всьому світу, в тому числі великі американські компанії, такі як Ford і IBM, були сертифіковані на відповідність стандарту ISO 14001. Тиск, що утворюється на ринках збуту, сприяє більш широкому впровадженню міжнародних екологічних стандартів, та все більше компаній вважають їх необхідним бізнес-інструментом.

Найбільша кількість сертифікатів за стандартом ISO 14001 в країнах Східної Азії й басейну Тихого океану – 59,8% та Європи – 30,4% від загальної кількості в світі [11]. Серед Європейських країн лідерами є Великобританія, Італія, Іспанія, Німеччина та Франція з загальною кількістю у 56,6%, Україна ж хоч і пройшла шлях від 1 до 223 сертифікатів за останні 18 років, але ця кількість складає лише 0,2% серед країн Європи (табл. 3).

Таблиця 3 – Країни-лідери в сертифікації за стандартом ISO 14001 серед Європейських країн у порівнянні з Україною [12]

Країна	Рік			У відсотках до загальної кількості
	2015	2016	2017	
Великобританія	17824	16761	17559	16,1%
Італія	22350	26655	14571	13,4%
Іспанія	13310	13717	13053	12,0%
Німеччина	8224	9444	10176	9,3%
Франція	6847	6695	6318	5,8%
Україна	155	442	223	0,2%
Загальна кількість в Європі	119754	120595	109133	100,0%

У розвинених індустріальних країнах ринковий тиск є рушійною, але вже не основною причиною, по якій більшість компаній звертаються за сертифікацією,

бо прибутковість і соціальна відповідальність, як і раніше, є переконливими причинами того, щоб компанія пройшла реєстрацію відповідності до ISO 14001. Аналіз відкритих джерел вказує на те, що найчастіше сертифікацію в напрямку екологічної безпеки використовують підприємства будівельної галузі (18,6%); виробництва готових металевих виробів (9,48%) та електричного і оптичного обладнання (9,3%), а також сфера оптової та роздрібної торгівлі й ремонту автомобілів та побутової техніки (8,65%), що разом складає приблизно 46%.

Висновки та перспективи подальших досліджень

За останні роки було розроблено декілька систем менеджменту, найпоширенішими з яких стали системи управління якістю, екологічною безпекою, управління в сфері енергетики, охороною здоров'я та безпекою праці, інформаційною безпекою та безпекою харчових продуктів. Досягти екологічної безпеки країни в цілому можна лише за умови розвитку ефективної системи екологічного менеджменту, що є складовою енергетичної безпеки в усіх аспектах і складових її ефективності.

Ефективна система управління екологічною безпекою, зокрема і в сфері енергоефективності, дозволить оперативно планувати та контролювати поточну діяльність, реагувати вчасно на надзвичайні ситуації, їх якісно вирішувати та, що саме головне, дозволить впевнено крокувати на шляху до сталого розвитку людства.

На сьогодні склалась унікальна сприятлива ситуація для створення інтегрованих систем менеджменту на базі об'єднання трьох базових систем за стандартами ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, перехід до якого зі стандарту OHSAS 18001 почався з березня 2018 року та має відбутися за найближчі три роки. Впровадження ISO 45001 та те, що сертифікація за стандартами ISO 9001 й ISO 14001, знаходячись на піку актуальності, у контексті сталого розвитку у 2017 році дещо втратили свої позиції, створює передумови для їх об'єднання з урахуванням доцільності для певної галузі виробництва.

Розглянуті в статті загальні положення щодо визначення сутності екологічної безпеки та її місця в системі менеджменту підприємства потребують подальшого розвитку. Зокрема, актуальними залишаються проблеми якісного формування системи менеджменту екологічною безпекою, організаційного та кадрового забезпечення цих процесів, а також проблеми дієвих нормативних й законодавчих документів в сфері екологічної безпеки нашої держави.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Європейське агентство з охорони навколишнього природного середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eea.europa.eu/ru>. Дата звернення 23-10-2020.
2. Маляренко В. А. Енергетика і навколишнє середовище: наукове видання / В. А. Маляренко. – Харків: вид-во САГА, 2008. – 364 с.
3. Качинський А. Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення / А. Б. Качинський. К.: НІСД, 2001. – 312 с.
4. Луцько В. С. Економічні важелі забезпечення екологічної безпеки України / В. С. Луцько. – К.: «Чорнобильінтерінформ», 2000. – 126 с.
5. Буравльов Є. П. Глобалізація: проблеми безпеки / Є. П. Буравльов. – К.: Інститут проблем національної безпеки, 2007. – 160 с.

6. Герасимчук З. В., Олексюк А. О. Екологічна безпека регіону: діагностика та механізм забезпечення: монографія / З. В. Герасимчук, А. О. Олексюк. – Луцьк: Надстир'я, 2007. – 280 с.
7. Акуленко В. Л. Екологічний менеджмент в контексті забезпечення екологічної безпеки підприємства / В. Л. Акуленко, І. В. Мамчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – Т. 1, № 5. – С. 21-26.
8. Закон України № 1268-ХІІ «Про охорону навколишнього природного середовища» від 26 червня 1991 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>. Дата звернення 26-10-2020.
9. Черчик Л. Екологічна безпека в системі менеджменту підприємства / Л. Черчик // Економічний часопис Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. – 2019. – №1. – С. 55-61.
10. ДСТУ ISO 14001:2015 Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування. – Чинні від 21.12.2015. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 38 с.
11. ISO Survey of certifications to management system standards - Full results. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://isotc.iso.org/livelink/livelink?func=ll&objId=18808772&objAction=browse&viewType=1>. - Дата звернення: 10.05.2019.
12. Буркинський Б. В. Наукові засади розробки стратегії сталого розвитку України: монографія / Б. В. Буркинський. – Одеса: ІПРЕЕД НАН України, 2012. – 714 с.

Стаття надійшла до редакції 10.06.2020 і прийнята до друку після рецензування 24.09.2020

REFERENCES

1. European Agency for Environmental Protection. Retrieved 23 October 2020 from: <https://www.eea.europa.eu/ru>. (in Ukrainian).
2. Maliarenko, V.A. (2008). *Energy and environment: a scientific publication*. Kharkiv: SAGA. (in Ukrainian).
3. Kachinskij, A.B. (2001). *Ecological safety of Ukraine: system analysis of prospects for improvement*. Kyiv: NISS. (in Ukrainian).
4. Lutsko, V.S. (2000). *Economic levers of ensuring ecological safety of Ukraine*. Kyiv: Chornobylinterinform. (in Ukrainian).
5. Buravlov, Ye.P. (2007). *Globalization: security issues*. Kyiv: Instytut problem natsionalnoi bezpeky. (in Ukrainian).
6. Gerasymchuk, Z.V., & Oleksyuk, A.A. (2007). *Ecological safety of the region: diagnostics and maintenance mechanism: monograph*. Lutsk: Nadstyria. (in Ukrainian).
7. Akulenko, V.L., & Mamchuk, I.V. (2009). Ecological management in the context of providing ecological safety of the enterprise. *Visnyk of Khmelnytsky National University (Ukraine)*, 1(5), 21-26.
8. On Environmental Protection: Law of Ukraine (1991). Retrieved 26 October 2020 from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>. (in Ukrainian).
9. Cherchyk, L. (2019). Ecological safety in the enterprise management system. *Economic Journal of the Lesia Ukrainka East European National University (Ukraine)*, 1, 55-61.
10. Environmental management systems. Requirements and guidelines for use: DSTU ISO 14001:2015 (2016). Kyiv: SE "UkrNDNC". (in Ukrainian).
11. Survey of certifications to management system standards: ISO 14001:2004 (2004). Retrieved 10 May 2019 from: <https://isotc.iso.org/livelink/livelink?func=ll&objId=18808772&objAction=browse&viewType=1>. (in Russian).
12. Burkinsky, B.V. (2012). *Scientific principles of development strategy of sustainable development of Ukraine: monograph*. Odessa: IPREED NAS of Ukraine. (in Ukrainian).

The article was received 10.06.2020 and was accepted after revision 24.09.2020

Гунченко Оксана Миколаївна

кандидат технічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва та архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID: 0000-0002-5769-2496 **e-mail:** gunchenko.oksana@gmail.com

Волошкіна Олена Семенівна

доктор технічних наук, завідувач кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва та архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID: 0000-0002-3671-4449 **e-mail:** e.voloshki@gmail.com

Кравченко Марина Василівна

кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID: 0000-0003-0428-6440 **e-mail:** marina-diek@ukr.net

Корінний Володимир Ілліч

старший викладач кафедри охорони праці і навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID: 0000-0001-8486-7493 **e-mail:** korinnyi.vi@knuba.edu.ua

UDC 504.064.2

Tetiana Kryvomaz¹, Dr, Professor of Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID: 0000-0002-4161-9702 *e-mail*: ecol@i.ua

Justyna Chmielewska², Head of Sustainability Gleeds Polska
e-mail: justyna.chmielewska@gleeds.pl

Tetiana Kanashchuk³, Sustainability Advisor Gleeds Ukraine
e-mail: tetiana.kanashchuk@gleeds.ua

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

² Gleeds Polska, Krakow, Poland

³ Gleeds Ukraine, Kyiv, Ukraine

THE PROSPECTS OF GREEN BUILDING DEVELOPING IN UKRAINE ON EXAMPLE OF POLAND

Abstract. *This study is an analysis of the data and trends observed in green construction in Ukraine and Poland. Ukraine started developing green building in 2011 and Poland begin in 2008, but despite on little chronologic distance, modern situation in construction industry of these countries has dramatic differences. For today Poland is the leader of Eastern Europe green building with 845 certified objects and four new projects on average are registering every week, while less than 10 certificated green buildings present in all Ukraine. BREEAM is the most popular green certification system in Europe and share 76.8% of total green building market in Poland, but also LEED takes significant shares in education and hotel business, all HQE projects relate to housing, and DGNB appear in logistic and retail. The most perspective sustainable tendency in Poland is increasing green building projects in educational, logistic and industrial sectors. It is could be good example for Ukraine, as well as growing green certification of industrial buildings and residential real estate. Evidence is growing that green buildings bring multiple benefits and driving economic growth around the world. For Ukraine the key factors are promote sustainability in major building companies, create a favorable investment climate, and enlist government support to developing green building.*

Key words: *green building; certifications rating system; environmental safety*

Introduction

Construction is a resource intensive sector with a significant environmental influence [2]. Only energy consumption during operation of buildings (lighting, heating, air conditioning, etc.) is responsible for approximately 25%–40% of total energy consumption in in developed countries [9]. The building industry is responsible for 33% of energy-related greenhouse gas emissions, 40% of waste, and 12% of water use in the world [26]. In the same time, it is also the sector with the largest potential to reduce of negative environmental impact using currently available technologies. It was the reasons why green building arrangements are implemented in the construction sector for minimising negative impact to environmental.

Sustainability concept was adapted to fit construction industry, and reflected by numerous green buildings and structures. The sustainability in built environment also has three main dimensions: environmental, social, economic [9]. Green

buildings are responsibly created and managed construction environment, complying with the guidelines of natural environment protection and the efficient use of natural resources at the construction stage, their exploitation, reconstruction, and demolition [12]. Wherein sustainable buildings are not merely friendly to the environment, but also providing optimal utility to their users and local community, while ensuring certain profitability for their owners and investors.

Before, green building was exotic example of separate ecological trends outside the mainstream architecture, and the sustainable design was perceived as the opposite to economical design. In recent years there has been gradual shift in building sector paradigm, and now sustainability has been incorporated into mainstream of construction [16]. Currently most scientific papers show that innovative and sustainable real estate have higher value and positively related to return on investment and investment liquidity [1, 2, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 22, 24].

It is not surprising that European Commission identified construction as one of the three sectors, which should be the focus of efforts to resource efficiency of resources and the principles of sustainable development [11]. It is worth noting that certification systems such as Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), and Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) have been applied not only in highly developed countries, but also expand on emerging markets more active with each year [4, 5, 16]. The problem of developing in the Ukrainian green building market is still understudied, both technically and conceptually. Poland is the leader of green building developing in East Europe [15], therefore their experience could be very useful for analyses and subsequent implementation in Ukraine.

Purpose of Research

The objective of this study is to compare the way of green building developing in Poland for adoption the best promising results in Ukraine according with modern trends of construction industry. This involves next tasks:

- analyzing the way of green building developing in Poland;
- choosing the best results of Polish experience for adoption in Ukraine;
- reviewing the main modern trends of building for imagine the future of construction industry.

Result of Research

The difference in the start time for the development of green building in Poland and Ukraine is only three years. Polish Green Building Council (PLGBC), founded in 2008, intends to transform the design, construction and operations of buildings in the entire country for the overall benefit of all residents as well as all participants of the construction process [21]. The first green buildings were certified in 2010 with British BREEAM and American LEED rating systems. Next certification system which come to Polish market in 2015 was French HQE. It is interesting that Germany standard DGNB which is very active in Europe made first certification in Poland only in 2016. Also need to mention WELL Building Standard which entered to Poland in 2017 (table 1).

Ukrainian Green Building Council (UAGBC) was established in 2011 and World Green Building Council (WorldGBC) assigned an initial status to the organization as “Perspective” [25]. DGNB support the creation of UAGBC and first in Eastern Europe green supermarket was received DGNB certificate in 2014 [5]. But first green buildings in Ukraine became U.S. Embassy and office of company Shell both certified under LEED in 2013. All U.S. federally-owned buildings have to be certificated under LEED standard [16]. In that time no office center in Ukraine had green certification, but according to Shell corporate policy it was obligatory to obtain certification of office space. First offices center in Kyiv was certified under BREEAM New Construction scheme in 2016 [3].

Table 1 – Comparison of green building developing initial stages in Poland and Ukraine

Green building stages	Poland	Ukraine
Green Building Council was established	2008	2011
First building with BREEAM certification	2010	2016
First building with LEED certification	2010	2013
First building with DGNB certification	2016	2014
First building with HQE certification	2015	--
First building with WELL certification	2017	--

Despite a more or less similar start, the further development of green building in Ukraine and Poland has dramatic differences. For today the number of certified buildings in Poland is more than 845 with 966 certificates [15] while there are less than 10 objects in Ukraine together with unfinished real estate projects (Figs 1, 2). While green building developing very slow in Ukraine, the sustainable positive dynamic growth dynamics observed in Poland. Now Poland is the certification leader in Central and Eastern Europe with 51% of certified facilities in are located here [15]. For other Eastern European countries the number of certified buildings are following: Czech Republic – 209, Romania – 202, Hungary – 163, Slovakia – 73, Lithuania – 49, Bulgaria – 47, Serbia – 18, Latvia – 17, Estonia – 14, Croatia – 9, Slovenia – 3 [3, 5, 10, 15, 16, 23].

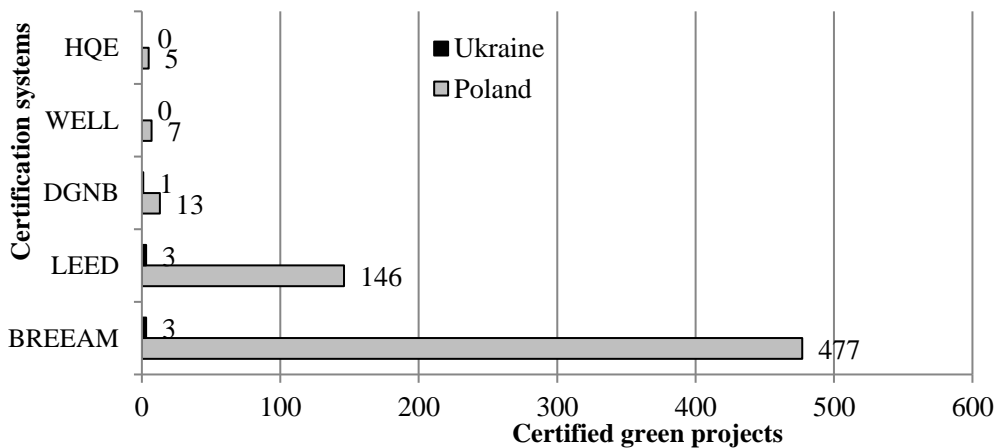


Fig. 1 – The comparison of number of certified green projects in Ukraine and Poland

The number of certified green projects increased in Poland during 2016-2017 by 22%, 2017-2018 – 24%, 2018-2019 – 29% [20], and 2019-2020 – 30% [15] among them BREEAM system share 78,3%. It happens that one certificate covers several buildings in a complex, but also one building awarded several certificates. On average almost 4 new projects were registered every week in Poland during March 2019 – March 2020 [20]. For two years in a row, Polish projects receive the BREEAM Awards as the best projects in Eastern and Central Europe [4]. Last year the BREEAM Award for the M1 Kraków project in the Commercial In-Use category was given for continuous improvement, based on sound management, and for using the evaluation and certification system to improve performance [15]. What lesson Ukraine could take from Poland experience for developing green building in our country?

All three certification systems DGNB, BREEAM and LEED were internationalized with significant success in Poland. BREEAM share 76.8% (649 certificated buildings) of total Polish green building market, other systems account for significantly less: LEED – 20.1% (169), DGNB– 1.7% (14), WELL – 1% (8), HQE – 0.6% (5) [15]. BREEAM is the most popular certification scheme in Poland and widespread in whole Europe [9]. The boasts dominant competitive position of this green certification system is reflected both by number of certified buildings and number of countries. The LEED system was established in the USA, but soon spread not only America, but also in the European market. LEED certification program also administers Green Business Certification Incorporation (GBCI), which certified the WELL Building Standard [23]. Internationalization of DGNB certification system is influenced by economic connections between Germany and other countries [9]. Noteworthy is the presence on the Polish construction market of the French system HQE [14]. Diffusion of green innovations in Poland was fostered by government support and progressive initiative from building organizations.

The comparison of numbers of green buildings by different sectors shows the predominance of office centers, which share 61.4% (519 projects) of total certification in Poland (Fig. 2). Green building in Polish office sector is already a

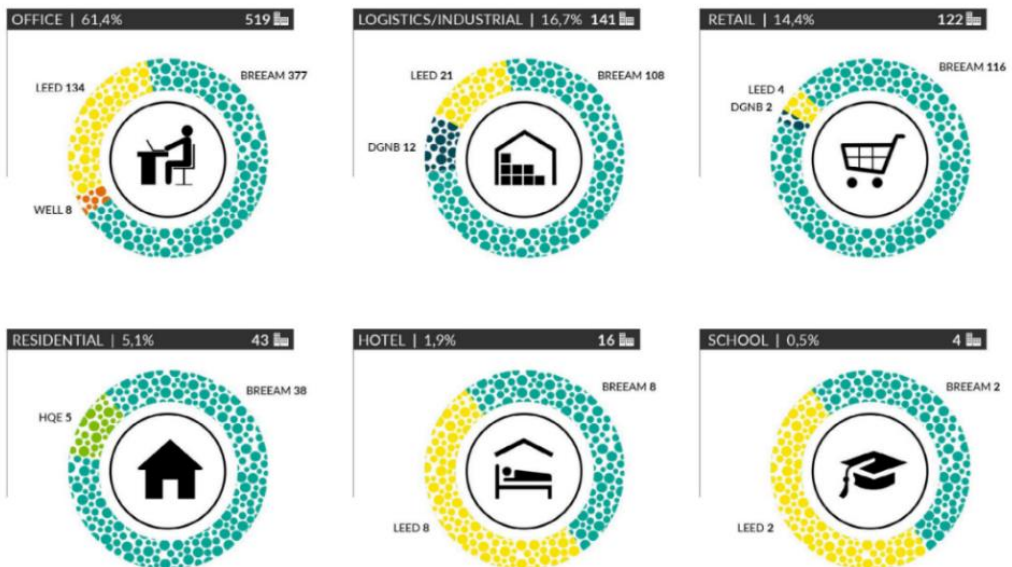


Fig. 2 – The comparison of certificated green projects by different sectors in Poland [15]

standard as evidenced by the fact that 76% of Polish total modern office spaces have a green certification, and in Warsaw these figures reach 87% [15]. The BREEAM system again has dominant position with certification 377 office buildings, yet another measure of its competing ability and also connected to awareness of tenants.

The green certification in the commercial real estate sector is already standard in Poland. A research based on a conjoint experiment shows the highest willingness to pay for having BREEAM certified office space, and slightly lower propensity to pay was observed for LEED certificate [2]. But LEED also holds a significant share (134 buildings) in the certification of Polish offices, and an interesting feature that all Polish WELL projects (8 buildings) concentrate in this sector [15]. WELL is grounded in a body of medical research that explores the connection between the buildings and the health and wellness of its occupants. The WELL Building Standard measuring, certifying, and monitoring features of the built environment that impact human health and wellbeing, through air, water, nourishment, light, fitness, comfort, and mind [23]. The lowest willingness in Poland to pay was estimated for DGNB certificate [19]. The CSR (Corporate Social Responsibility) is reflected on a property market in decisions to lease certified office space. Non-profit and government organizations display higher propensity to rent office space in an green building, guided by legal considerations [7]. Offices were actively certified from the very beginning of green building development in Poland, so now growth rates is going through relative saturation. Most numbers using BREEAM system, which share of 72% (6,087,100 m²) of green building certificated offices, less using LEED – 22.5% (2,166,036 m²), and only 2.5% (209,800 m²) using WELL [15].

The last two years have been a real burst of green certification in the industrial sector in Poland. The observation had demonstrated huge increase in the number of certified storage facilities. In the period March 2019 - March 2020, as many as 55 such facilities were added, reaching the number of 141 projects. As of now its share is 16.7% of total green building market in Poland with using BREEAM (108), LEED (21) and DGNB (12) standards (Fig. 2). The logistics and industrial sector more and more often decides to certify new investments. It is show as much as 70% increase in the area of this type of objects during 2019, which is promising tendency for Polish industry and could be perspective example for Ukraine [15].

Green certification of retail objects in Poland takes 14.4% (122 projects) with usual predominance of BREEAM (116 buildings), 4 buildings for LEED and 2 projects certified by DGNB (Fig. 2). The first restaurant KFC in Kraków was certified during last year in the multi-criteria evaluation system LEED New Construction [15]. However, for investors more secure and liquid commercial property types such as retail, expecting higher future yields. Ukrainian developer need to think about such tendency.

Indicative is the development in Poland of certification of houses, which worldwide are much less frequently certified than offices. Back in 2015 green-certified residential buildings were only 2, in 2016 there were 5 houses, in 2017 – 9, in 2018 – 28, and during last year 43 residential projects certificated in Poland (Fig. 3). It is a pity that residential real estate takes only 5.1% in the Polish green building market. But the growth trend looks promisingly composing 133% during 2019 [20] and an increase of 30% show in the last year [15].

The first residential investment in Poland was assessed in two systems last year. The buildings La Melodie estate (Bouygues Immobilier Polska) obtained the BREEAM certificate apart from the HQE certificate [15]. It is interesting that,

despite the usual dominance of BREEAM (38 buildings), this is the only sector where HQE (5 buildings) system appears (Fig. 2). From the very beginning, the French HQE system has focused on housing construction in Poland due the special requirements for aesthetics and comfort of buildings prescribed in their standards. HQE Urban Planning and HQE Infrastructure currently integrate four main assumptions of the HQE system: quality of life, respect for the environment, economic efficiency and responsible management. In case of apartments typical investor faced a trade-off between choosing relatively secure and liquid assets but at the expense of lower rate of return. In Ukraine first residential project was certified under BREAAM scheme in 2020.

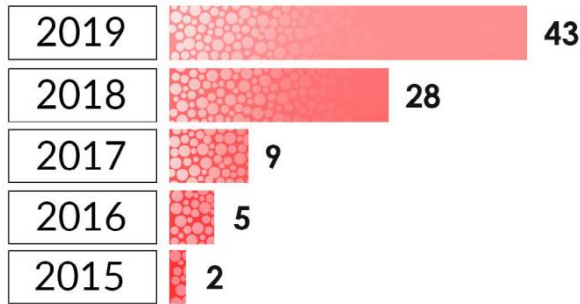


Fig. 3 – The dynamics of housing green certification in Poland [15]

The proportion of hotel sector is 1.9% (16 projects) among Polish green buildings with equal eight buildings of BREEAM and LEED certification (Fig. 2), moreover LEED doubled the number of green projects in the hotel business compared to last year [20]. The greatest new tendency is start to develop green certification for schools in Poland. For the moment it is only 4 certified educational institutions with 0.5% of green building market (Fig. 2), but it means 200% increasing in educational sector during 2018 [20].

The polarization of individual sectors with new dynamics of growth is more and more clearly visible in Poland. The most vivid parameter that shows the development of sustainable construction is the usable area of certified buildings, which has already exceeded 17 million m² (Fig. 4). During this year there was an increase of over 3 million m² of certified space and in 2019 it was an increase by 2 million m² [15].

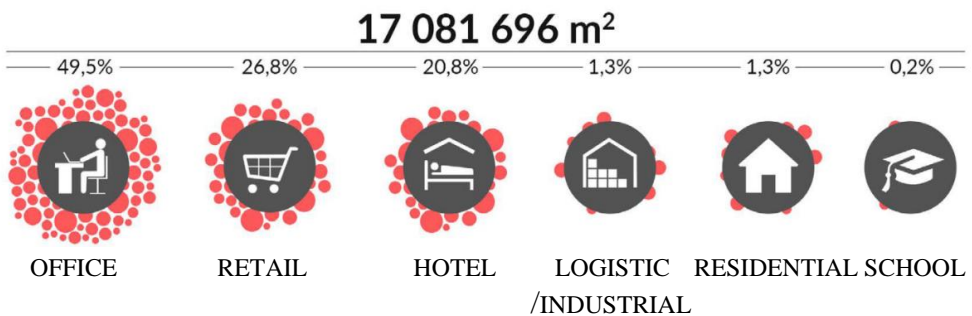


Fig. 4 – Share of green building certified area by sectors in Poland [15]

Although occupants may be willing to bear the higher costs associated with the use of ecological solutions in the construction industry, the interest of the occupants is not always consistent with the interests of the investor [2]. Developer seeks to maximize profit at the expense of the cost of construction, while the buyer's utility depends on the characteristics of the building, which should include life-cycle costs. Due to the asymmetry of information neither investor nor end user is able to assess the architectural and construction project and control the actions of the developer [9]. Both sides of the contract (investor / end user and developer respectively) have conflicting interests. To conclude, because of the agency problem, under conditions of asymmetric information in the property market, the end user is not able to observe and supervise the design and construction phase of an investment project. Due to asymmetric information developer is subject to moral hazard, and may be willing to reduce the cost of construction at the expense of quality. Minimizing the cost of construction can lead to inferior quality, and significant increase in operating costs incurred by the potential occupants [9].

Discussion

The Polish experience proves that sustainable construction and certification of green buildings are not a passing fad, but a confirmed direction of permanent changes in the construction industry. The world over, evidence is growing that green buildings bring multiple benefits. They provide some of the most effective means to achieving a range of global goals, such as addressing climate change, creating sustainable and thriving communities, and driving economic growth. There are at least four main reasons to choose sustainable property. First are direct economic benefits resulting from lower operating costs and lower energy consumption. Second are indirect economic benefits drawn from improved image, increased work efficiency of staff, lower staff turnover, and lower absenteeism due to sick building syndrome. Third are risk avoidance, which in market conditions translates into the rate of functional and moral deterioration of sustainable building, commercial character of a facility, future changes of energy prices and future institutional and legal changes. The fourth are ethical conduct related to CSR (Corporate Social Responsibility), responsible property investing, and corporate culture [9]. Also it is necessary to mentioned about privileges for "green investor" from Investment Banks such as EBRD or EIB. Additionally all of these issues are strictly connected and coincident with assumptions of GRI sustainability reporting. GRI helps businesses and governments worldwide understand and communicate their impact on critical sustainability issues such as climate change, human rights, governance and social well-being. This enables real action to create social, environmental and economic benefits for everyone. The GRI Sustainability Reporting Standards are developed with true multi-stakeholder contributions and rooted in the public interest. The GRI Sustainability Reporting Standards are developed with true multi-stakeholder contributions and rooted in the public interest.

In Poland the growing interest in certification is visible not only among large international developers, but also among local, smaller real estate investment companies. The difference between large and small developers is that the large ones most often decide on full certification, starting at the design stage, while the smaller ones commission the so-called preliminary assessment report, which supports their design decisions, or they decide to pre-certify themselves, without obtaining the final

certificate. In both cases, the goal is to create a healthy and user-friendly building with the least negative impact on the environment [15].

The certification of warehouse facilities has developed more and more dynamically recently. Warehouses are a key element of the logistics chain, which today play an increasingly important role in the success or failure of the organization. A warehouse is a kind of an intermediary between various participants in the supply chain, thus influencing its costs and service. In addition, in recent times, many organizations have taken steps towards centralized manufacturing and warehouse facilities, seeking to rationalize and manage their supply chain processes more efficiently. Consequently, this has led to an increase in the number of larger warehouses controlling distribution to a larger, more diverse customer base, in a larger region and therefore with more complex internal logistics processes. These processes are managed and participated by people for whom the quality of the environment and the place where they work is becoming more and more important. Therefore, incorporating the principles of sustainable construction into the design of warehouse and distribution centers is a win-win. It reduces harmful effects on the environment, encourages safety and comfort of work, while gaining the respect of customers and the community. And, which is very important from a business point of view, it lowers operating costs, ultimately improving the company's financial results [15].

Certified sustainable residential investment could include solutions such as elevators with energy recovery technology, LED lighting controlled by sensors or a rainwater recovery system for watering green areas. Moreover, thanks to the high insulating power of the building envelope, heating costs can be reduced. It is important to insulate the rooms with adequate sunlight, efficient ventilation and high acoustic comfort. On the other hand, during the construction phase, procedures should be implemented to protect biodiversity, raise environmental awareness of all project participants, and take measures to reduce waste production and water consumption. Such an approach will make sustainable construction a more and more common standard in the residential segment [15].

The implementing sustainable solutions in the architectural design and construction of built environment will yield positive effects throughout the building's life cycle, especially at the stage of its operation. There is a change in the approach to certifying buildings. While a few years ago thinking about a friendly building was limited to ecological buildings and materials, today it focuses on people. Planning by architects and investors of the green standard certification is becoming common, and thus the role of friendly interior acoustics is growing. And this trend will strengthen in the coming years due to the increasing noise pollution in cities. Most of the benefits will be related to their users (occupants). Rent in sustainable property could be higher according to modern preferences of tenants. The willingness-to-pay (WTP) for more sustainable living/working space and superior is expected to lead to lower maintenance costs, and lower necessity of costly refurbishment in future, and as results in lower operating expenses [9]. Sustainable property is higher liquidity, and shorter vacancy periods from investment perspective, and also less risk of losing tenants. Rents will increase in future, thus owner's income will grow due to competitiveness and green attraction. Most authors indicate lower operating expenses and rent premiums in green buildings range from 5% [18], 12% [8], even up to 17% [24]. Employees who can choose between employers are increasingly looking at non-wage aspects. One is the approach to issues related to health and well-being, largely based on the workplace. A rapid increase in interest in this subject has taken

place in recent years, therefore it is important for the entire office market to gradually standardize the solutions introduced, which will guarantee meeting the needs of today's employees. Green certificates of office buildings are now standard in Poland. It is often one of the basic criteria taken into account by tenants when searching for the perfect space. The growing awareness of society means that the health and well-being of future users should be taken into account when designing. The provision of very good indoor air quality, infrastructure for cyclists, gyms, green common spaces with the possibility of co-working, space for relaxing and eating meals, as well as building applications, has become a necessity. Developers and designers must start looking for innovative solutions to reduce the building's environmental impact. This is achieved, among others, by integrated design taking into account the entire life cycle of the building, passive design and the use of systems that optimize the demand for electricity, water and other utilities.

Artificial intelligence is set to play a major part in construction with the exponential growth in computing power and algorithm-based computer systems. Currently there are 800 built environment software apps in development in the UK, which aim to automate the development, design, and build process [4]. With the tech investment in the built environment, the growth of artificial intelligence, it's going to be possible to automate the optimized design and construction for any given project. They will be able to feed in planning policy, client requirements and automate the whole thing. Construction firms could lose business to IT giants and must be ready for major changes over the next three to five years. By the mid-2030s (in the next 20 years) 47% of all jobs were at a high risk of automation, including a substantial share of employment in construction occupations [6]. As noted Richard Steer, worldwide chairman of consultant Gleeds, these technologies will affect the industry's architects, surveyors, engineers and project managers. This doesn't mean, however, that anyone expects that engineer, surveyor or architect roles will become redundant. But the thrust of job roles could change, reducing time needed for the vital but often repetitive calculations and other tasks that were once at the heart of professionals' competencies. Despite all this, few envisage wholesale change in construction overnight. Barriers include the sector's relatively poor research and development and investment levels, the fragmented nature of the industry and question marks over the regulation and use of the data many envisage powering this digital revolution. Amazon, which is now the largest real estate developer in the world through its data centers and distribution hubs, is hoarding built environment data [26].

Resource Requirements of Future Urbanization calls for a new strategy to meet the needs of 21st-century urbanization. The report Sustainable Urban Infrastructure Transitions was produced by UN Environment says that collaborative governance, at all levels, and long-range planning will be needed to transform the cities [11]. The importance of sustainable development principles in construction industry and property market practices are increasing across the world [22]. For Ukraine the key factors are emergence and development of organizations that promote sustainability in real estate, and growing environmental awareness and adoption of Corporate Social Responsibility guidelines by major building companies. We have a once-in-a-lifetime opportunity to shift this expected urbanization on to a more environmentally sustainable and socially just path. Decisions made today on urbanization and land-use models, as well as on critical infrastructure, will determine whether our investments are future-proof, or whether they lock us on to an unsustainable path [25].

Conclusions

Ukraine started developing green building in 2011 and Poland begins in 2008, but despite on little chronologic distance, modern situation in construction sector of each country has dramatic differences. For today Poland is the leader of Eastern Europe green building with 845 certified objects and three new projects are registering every week, while less than 10 certificated green buildings present in all Ukraine.

BREEAM is the most popular green building certification system in Europe and share 76.8% of total green building market in Poland, but also LEED takes significant shares in education and hotel business, all HQE projects relate to housing, and DGNB appear in retail.

The unchanging industry leader in Poland is the office real estate sector with an almost 62% share and decrease of 3% compared to last year. High activity in green certification of industrial and logistic buildings was noted with increased by 64% compared to the previous year. The greatest new tendency is start to develop green certification for schools in Poland. It is could be good example for Ukraine, as well as growing green certification of industrial buildings and residential real estate.

Artificial intelligence is set to play a major part in construction and it's going to optimize for any building project, but the most these technologies will affect the industry's architects, surveyors, engineers and project managers.

Evidence is growing that green buildings bring multiple benefits and driving economic growth around the world. For Ukraine the key factors are promote sustainability in major building companies, create a favorable investment climate, and enlist government support to developing green building.

REFERENCES

1. Barrientos, J.L., Bhattacharjee, U., Martinez, T. & Duffy, J. J. (2007). Green Buildings in Massachusetts: Comparison between Actual and Predicted Energy Performance. *Proceedings of the American Solar Energy Society*.
2. Belniak, S., Gluszak, M., & Zięba, M. (2013). The Supply of Sustainable Office Space in Poland. *World of Real Estate Journal*, 82, 12-19.
3. BREEAM Certified Assessments. Retrieved from: <http://www.greenbooklive.com>
4. BREEAM. Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Retrieved from: <https://www.breeam.com>
5. DGNB Pre-certified and Certified Projects. Retrieved from: <http://www.dgnbssystem.de/en/projects>
6. Digital automation, integration, and twinning services for the construction industry. Retrieved from: <https://www.digitalconstructionworks.com>
7. Eichholtz, P., Kok, N., & Quigley, J. M. (2009). Doing Well by Doing Good? Green Office Buildings. *American Economic Review*, 100, 2492-2509.
8. Fuerst, F. & McAllister, P. M. (2008). Green Noise or Green Value? Measuring the Price Effects of Environmental Certification in Commercial Buildings. *Real Estate Economics*, 39(1), 45-69.
9. Gluszak, M. (2015). Internationalization, Competiveness and Green Building Certification in Europe (chapter 9). In: P. Stanek & K. Wach (Eds.). *Europeanization Processes from the Meso-economic Perspective: Industries and Policies*. Kraków: Cracow University of Economics, 173-191.
10. HQE. Haute Qualité Environnementale. Retrieved from: <http://www.behqe.com>.
11. IRP (2018). The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization. Swilling, M., Hajer, M., Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A.,

- Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A. Kruit, K., Reiner, M., Smit, S., Tabor, S. A Report by the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
12. Kibert, C. (2007). *Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery*. Hoboken (NJ): J. Wiley and Sons.
13. Kryvomaz, T., Scudu, I., Leonard, D., & Minter, D. (2019). Green building BREEAM in Ukraine. *Environmental Safety and Natural Resources*, 29(1), 5-15. doi:<http://dx.doi.org/10.32347/2411-4049.2019.1.5-15>
14. Kryvomaz, T., Michaud, A., Varavin, D., & Perebynos, A. (2018). French green building rating systems. *Environmental Safety and Natural Resources*, 27(3), 40-48. doi:<http://dx.doi.org/10.32347/2411-4049.2018.3.40-48>
15. Kuczera, A. (2020). Certyfikacja zielonych budynków w liczbach - Raport 2020, PLGBC, 17 pp.
16. LEED Projects Directory. Retrieved from: <http://www.usgbc.org/projects>
17. Lorenz, D. (2006). *The Application of the Sustainable Development Principles to the Theory and Practice of Property Valuation*, Karlsruhe Schriften zur Bau-, Wohnungs- und Immobilienwirtschaft. Karlsruhe, Germany.
18. Pivo, G., & Fisher, J. D. (2010). Income, Value and Returns in Socially Responsible Office Properties. *Journal of Real Estate Research*, 32, 243-270.
19. Plebankiewicz, E., Juszczak M., & Kozik R. (2019). Trends, costs, and benefits of green certification of office buildings: a Polish perspective. *Sustainability*, 11, 23-59.
20. Polish certified green buildings in numbers – 2019 analysis. Retrieved from: <https://plgbc.org.pl/polish-certified-green-buildings-in-numbers-2019-analysis-eng>
21. Polish Green Building Council (PLGBC). Retrieved from: <https://plgbc.org.pl>
22. Urbaniec, M., & Gerstlberger, W. (2011). Innovation in environment-oriented networks Influence factors from case study and survey research. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22(6), 686-704.
23. WELL Building Standard. Retrieved from: www.wellcertified.com
24. Wiley, J., Benefield, J., & Johnson, K. (2010). Green Design and the market for commercial office space. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 41, 228-243.
25. World Business Council For Sustainable Development (WBCSD). Retrieved from: <https://www.wbcd.org>
26. World Green Building Trends 2018 SmartMarket Report. Retrieved from: <https://www.worldgbc.org/news-media/world-green-building-trends-2018-smartmarket-report-publication>

The article was received 17.04.2020 and was accepted after revision 24.07.2020

Т.І. Кривомаз, Ю. Хмелевська, Т.Ю. Канащук ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА В УКРАЇНІ НА ПРИКЛАДІ ПОЛЬЩІ

Анотація. В дослідженні проаналізовано тенденції в секторі зеленого будівництва в Україні та Польщі. В Україні розвиток зеленого будівництва розпочався у 2011 р., а у Польщі – в 2008 р., але, незважаючи на невелику хронологічну різницю, сучасна ситуація в будівельному секторі цих країн кардинально відрізняється. На сьогоднішній день Польща є лідером зеленого будівництва у Східній Європі з 845 сертифікованими об'єктами, до того ж щотижня реєструється по чотири нових проекти, тоді як у всій Україні менше 10 сертифікованих зелених будівель. BREEAM є найпопулярнішою системою сертифікації зелених будівель у Європі та займає 76,8% всього ринку зеленого будівництва у Польщі, але також LEED займає значну долю в освітніх будівлях та готельному бізнесі, всі проекти HQE стосуються житла, а DGNB проявляється у роздрібній торгівлі. Найбільш перспективною стійкою тенденцією у Польщі є збільшення кількості проектів зеленого будівництва в освітньому, логістичному та промисловому секторах. Це може бути гарним прикладом для

України, так само як і зростаюча кількість зелених сертифікатів серед промислових будівель та у житловій нерухомості. Все більше свідчень того, що зелені будівлі надають численні вигоди та сприяють економічному розвитку у всьому світі. Для України ключовими факторами є пропагування сталого розвитку серед великих будівельних компаній, створення сприятливого інвестиційного клімату та залучення державної підтримки до розвитку зеленого будівництва.

Ключові слова: зелене будівництво; сертифікаційні рейтингові системи; екологічна безпека

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

Кривомаз Тетяна Іванівна

доктор технічних наук, кандидат біологічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва та архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0002-4161-9702 **e-mail:** ecol@i.ua

Хмілевська Юстина

керівник відділу тривалого розвитку Глідз Польща

Адреса робоча: 31-000 Польща, м. Краків, вул. Любельська, 31

e-mail: justyna.chmielewska@gleeds.pl

Канащук Тетяна Юріївна

консультант з тривалого розвитку Глідз Україна

Адреса робоча: 04050 Україна, м. Київ, вул. Миколи Пимоненка, 13

e-mail: tetiana.kanashchuk@gleeds.ua

UDC. 504.5:669.017:631.95

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

e-mail: p.kirienko@khai.edu

Tetyana O. Klocko, senior lecturer of the Department of chemistry, ecology and expert technologies

e-mail: t.klocko@khai.edu

Irina Y. Khomenko, senior engineer of the Department of chemistry, ecology and expert technologies

e-mail: khomenko.19.10@gmail.com

Ganna M. Durnevich, student of the Department of chemistry, ecology and expert technologies

e-mail: anna.durnevich.99@gmail.com

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

ANALYSIS OF HEAVY METAL MIGRATION IN VEGETABLE AGRICULTURAL WASTE

Abstract. *One of the most important tasks facing Ukraine is to maximize the use of its own renewable energy resources, including the use of agricultural waste (stems, straw, sunflower husks, bonfires, etc.) to obtain energy sources such as fuel briquettes and pellets. The urgency of complete utilization of agricultural waste depends on the content of heavy metals in the ash formed during the combustion of fuel briquettes made from agricultural waste. The entry of heavy metals from the soil into plants today is a serious environmental problem, as a result of which human and animal food, as well as agricultural waste are contaminated with heavy metals. After making briquettes or pellets, they can be used as fuel in various installations. When briquettes or pellets is burning made from agricultural waste, ash is formed, which can be used as an additive to organic fertilizers, while heavy metals at high temperatures can form oxides and then salts, which are less susceptible to migration into plants. The analysis of migration of heavy metals from soil to plants is carried out. The possibility of using vegetable waste to obtain fuel briquettes and pellets is considered. The comparison of the content of heavy metals in the plant with the maximum permissible concentration was checked. The content of harmful substances in the ash was determined after their use. The scheme of technological sequence of production of briquettes and pellets from vegetable waste is presented. The possibility of using pellet ash and briquettes as additives to organic fertilizers is analyzed. In general, the processing of vegetable waste into fuel briquettes and pellets is a very effective environmental solution that allows the maximum use of agricultural waste as a renewable energy resource, as well as to bind heavy metals and prevent their further migration.*

Keywords: *heavy metals; migration; vegetable waste; fuel briquettes; fuel pellets*

П.Г. Кирієнко, Т.О. Клочко, І.Є. Хоменко, Г.М. Дурневич

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МІГРАЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У РОСЛИННИХ ВІДХОДАХ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

***Анотація.** Одне з найважливіших завдань, які стоять перед Україною, полягає в максимальному використанні власних відновлюваних енергетичних ресурсів, зокрема використанні відходів сільського господарства (стебла, солома, лушпиння соняшнику, костриця та ін.) для виготовлення паливних брикетів та пелет. Актуальність повної утилізації відходів сільського господарства залежить від вмісту важких металів в попелі, що утворюється при спалюванні паливних брикетів, виготовлених з відходів сільського господарства. Надходження важких металів з ґрунту в рослини на сьогоднішній день є серйозною екологічною проблемою, внаслідок якої продукти харчування людини та тварин, а також відходи сільського господарства забруднюються важкими металами. Після виготовлення брикетів або пелет їх в подальшому можна використовувати як паливо в різних установках. При спалюванні брикетів або пелет, виготовлених із відходів сільського господарства, утворюється попіл, що може використовуватись в якості добавки до органічних добрив, при цьому важкі метали при високих температурах можуть утворювати окисли, а потім і солі, які менше піддаються міграції в рослини. Проведено аналіз міграції важких металів з ґрунту в рослини. Розглянуто можливість використання рослинних відходів для отримання паливних брикетів та пелет. Перевірено відповідність вмісту важких металів у рослині з гранично допустимою концентрацією. Визначено вміст шкідливих речовин у золі, після їх використання. Представлено схему технологічної послідовності виробництва брикетів та пелет з рослинних відходів. Проаналізовано можливість використання попелу пелет та брикетів в якості добавок до органічних добрив. В цілому переробка рослинних відходів в паливні брикети та пелети є досить ефективним екологічним рішенням, що дає змогу максимально використати відходи сільського господарства як відновлюваний енергетичний ресурс, а також зв'язати важкі метали та запобігти їх подальшій міграції.*

***Ключові слова:** важкі метали; міграція; рослинні відходи; паливні брикети; паливні пелети*

Вступ

Одне з найважливіших завдань, які стоять перед Україною, полягає в максимальному використанні власних відновлюваних енергетичних ресурсів, зокрема використанні відходів сільського господарства (стебла, солома, лушпиння соняшнику, костриця та ін.) для виготовлення паливних брикетів та пелет. За «Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року», Розпорядженням КМУ від 01.10.2014 № 902-р, споживання енергії, виробленої з відновлюваних джерел, має становити 8,59 млн т.н.е., що складе 11% від сукупного кінцевого споживання енергоресурсу. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) відіграють помітну роль в економіці України. Станом на кінець першого півріччя 2019 р. встановлена потужність об'єктів

відновлюваних джерел енергії досягла 3634,4 МВт, у тому числі СЕС – 2640,4 МВт (сонячні електростанції), ВЕС – 776,6 МВт (вітрові електростанції), установок на біомасі – 51,3 МВт, біогазі – 66,4 МВт.

Основна частина

Для оцінки ступеня забруднення відповідно до класифікації хімічних речовин для контролю ґрунтів взято важкі метали усіх трьох класів небезпеки: I клас – дуже небезпечні (Cd, Pb, Zn), II клас – помірно небезпечні (Cr, Ni, Cu, Co), III клас – мало небезпечні – (Mn, Fe). Форми міграції важких металів в ґрунтах вивчені недостатньо. Переважна частка орних земель країни певною мірою забруднені важкими металами, основними з яких є Ni, Zn, Cd, Pb, Hg і Cu.

В процесі росту і розвитку хімічні елементи накопичуються в рослинах і організмах. Біологічна акумуляція сприяє вилученню хімічних елементів рослинами та організмами з ґрунту, тривалість якого відповідає тривалості життя організму. Мікроелементи потрапляють до ґрунту разом з добривом, а також через антропогенні забруднення від промислових підприємств та автотранспортних викидів. Сучасна агротехніка передбачає широке використання мінеральних добрив. Одними із найпоширеніших видів мінеральних добрив є фосфорно-калійні добрива [4]. Всі калійні добрива добре розчиняються у воді. При внесенні в ґрунт вони дуже швидко розчиняються завдяки ґрунтовій волозі. Калій споживається ґрунтовими колоїдами, що зменшує його рухомість, однак він залишається досяжним для живлення рослин. Внаслідок такої фіксації калію його доступність для рослин значно знижується, а іноді він стає зовсім недоступним.

Процеси висушування та зволоження ґрунту значно посилюють процес фіксації калію. В таблиці 1 наведено приклади культур, які підживлюють калійними добривами, та ефекти впливу калію на їх ріст, розвиток та урожайність [4].

Таблиця 1 – Культури, які підживлюють калійними добривами

Культура	Вплив калію
Ріпак	Ріпак належить до калієлюбних рослин. Калій підвищує стійкість ріпаку до вилягання, ураження хворобами, зимостійкість, збільшує кількість насіння в рослині і масу 1000 насінин.
Соняшник	Калій бере участь у вуглеводному обміні, транспорті води та безпосередній оводненості клітин. Також підвищує посухостійкість соняшнику, допомагає утримати вологу і зменшує її випаровування.
Соя	До початку цвітіння соя засвоює калію в 1,5 рази більше, ніж азоту, і в 1,8 рази більше, ніж фосфору. Однак найбільше цього елемента соя споживає в період формування бобів та наливання зерна.
Цукровий буряк	В зв'язку з накопичуванням значної кількості вуглеводів, цукровий буряк потребує великої кількості калію. Вирощування цукрового буряку з достатнім внесенням калійних добрив також забезпечує стійкість рослин до захворювань.

Завдяки калію вуглеводи із вегетативних органів пшениці переміщуються до колоса, що призводить до якісного наливання зерна, в результаті чого підвищується величина, наповненість зерна клітковиною та вміст білку. Калій

також має позитивний вплив на кукурудзу. Добра забезпеченість ґрунту калієм сприяє ефективному використанню вологи, підвищує стійкість до посухи, покращує засвоєння рослиною азоту. Без калію рослина не в змозі перетворювати аміак, в результаті аміак накопичується в рослині, що чинить токсичний вплив на неї [4]. Дефіцит цього елемента на початкових етапах розвитку призводить до зупинки поділу клітин та збільшення вегетативної маси. Калій максимально засвоюється в період інтенсивного росту та наростання вегетативної маси.

Фосфорні мінеральні добрива необхідні перш за все для розвитку кореневої системи рослин. Крім цього, даний елемент регулює їхнє дихання і наповнює рослинний організм енергією. Найбільше фосфору міститься в репродуктивних органах рослин (зерно), які виносяться з поля.

Міграція важких металів

Рухливість важких металів в ґрунті і їх надходження в рослини дуже мінливі і залежать від багатьох факторів: виду культури, ґрунтових і кліматичних умов.

Актуальність повної утилізації відходів сільського господарства залежить від вмісту важких металів в попелі, при спалюванні паливних брикетів, виготовлених з відходів сільського господарства.

Концентрація важких металів залежить від віку рослин. Важкі метали можуть надходити в рослини некореневим шляхом, наприклад, з повітряних потоків, адже на практиці широко застосовуються оприскування рослин мікроелементами. Поглинені листям метали можуть переноситись і в інші рослинні тканини, зокрема в коріння, де можуть знаходитися тривалий час у формі запасу [5].

Основними джерелами антропогенного надходження важких металів в природне середовище є підприємства промисловості: теплові електростанції, металургійні заводи і транспорт. Технологічні процеси підприємств чорної і кольорової металургії не забезпечені надійними засобами очищення газових викидів, що призводить до сильного забруднення атмосфери навколо цих підприємств. Особливе місце серед забруднювачів займають важкі метали, такі як Zn, Cu, Co та Ni.

Якщо недалеко від поля, де будуть збирати сировину для виготовлення паливних брикетів та пелет, буде знаходитися підприємство кольорової металургії, виробництво пергаментного паперу або мінеральних фарб, то перераховані вище метали можуть потрапляти в ґрунт через викиди підприємств у повітря, а потім разом з дощем осісти на ґрунт. Забруднена атмосфера в цьому випадку є головним джерелом накопичення важких металів в ґрунті і рослинах.

На основі даних (табл. 2) Інституту сільського господарства степової зони НААН України проаналізовано вміст мікроелементів в побічній продукції сільськогосподарських культур.

На основі даних ТОВ «СВНЦ Інтелект сервіс» (табл. 3) проаналізовано та побудовано діаграми вмісту важких металів в сухій речовині кукурудзи, вирощеної на агроугоддях поблизу промислового майданчика, у порівнянні з ГДК.

Таблиця 2 – Вміст мікроелементів в побічній продукції сільськогосподарських культур (мг/кг)

Культура	Zn	Cu	Co	Ni
Пшениця озима	$\frac{2,28}{0,65-6,72}$	$\frac{0,93}{0,15-3,26}$	$\frac{0,35}{0,14-0,68}$	$\frac{1,02}{0,30-2,82}$
Ячмінь ярий	$\frac{5,17}{1,17-10,0}$	$\frac{1,61}{0,30-5,55}$	$\frac{0,65}{0,17-1,56}$	$\frac{1,42}{0,50-3,93}$
Кукурудза	$\frac{12,4}{3,69-36,5}$	$\frac{3,52}{1,02-10,6}$	$\frac{0,79}{0,30-1,66}$	$\frac{1,46}{0,64-3,88}$
Соняшник	$\frac{13,2}{5,29-23,6}$	$\frac{5,12}{2,22-16,7}$	$\frac{1,45}{0,47-3,22}$	$\frac{2,63}{0,55-5,51}$

Чисельник – середні значення, знаменник – коливання вмісту (min-max).

Таблиця 3 – Вміст хімічних елементів у сухій речовині кукурудзи (мг/кг)

Ділянка	Тип проби	Важкі метали			
		Cd	Cu	Zn	Pb
	качани	0,206	1,62	5,15	0,258
	листя	0,715	4,51	45,05	8,582

Проаналізовані дані (рис. 1 та 2) показують, що рівень вмісту свинцю в листі кукурудзи значно більший, ніж гранично допустима концентрація, тому потрібно мінімізувати використання зеленої маси.

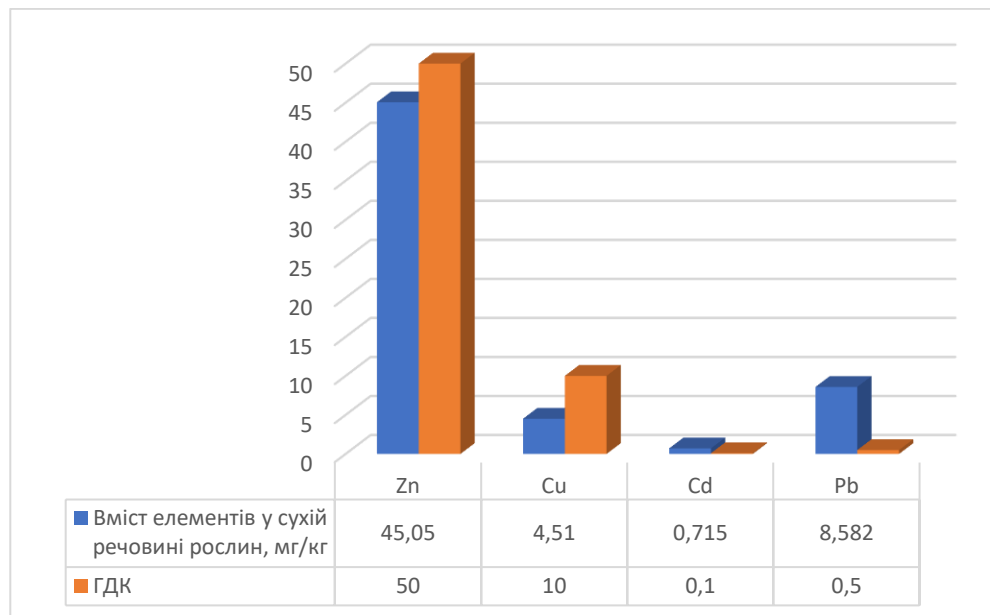


Рис. 1 – Діаграма вмісту важких металів в листі кукурудзи

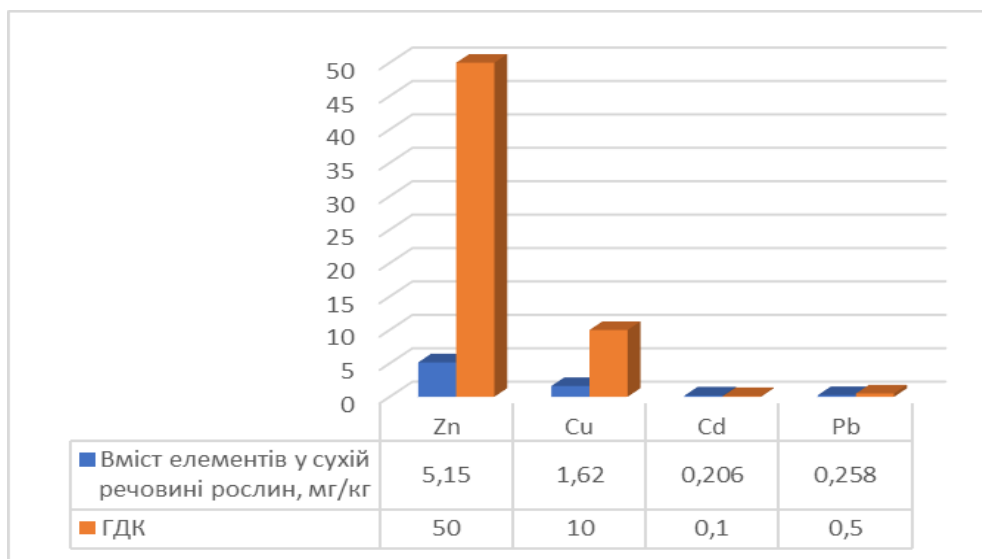


Рис. 2 – Діаграма вмісту важких металів в качанах кукурудзи

Для виготовлення пелет та брикетів широко використовуються рослинні рештки. Весь процес виробництва умовно можна розділити на кілька етапів. Більш детально технологічну послідовність виготовлення брикетів та пелет з рослинних відходів зображено на рис. 3 [1].

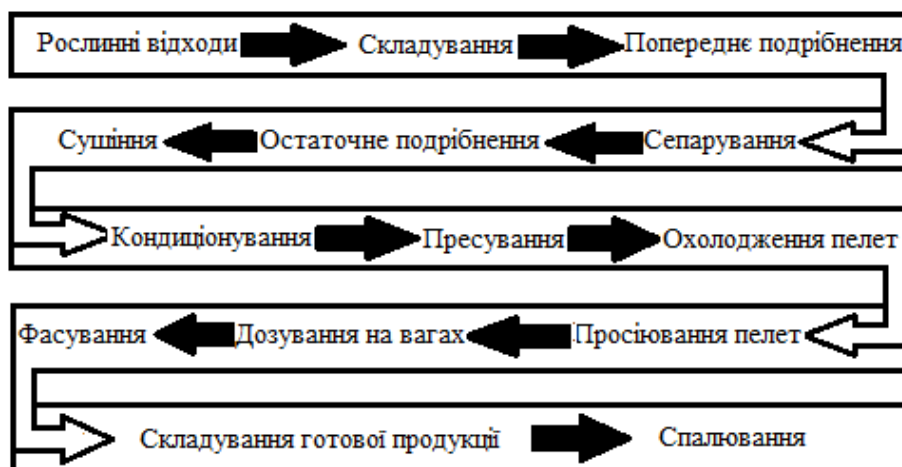


Рис. 3 – Схема виробництва паливних пелет з відходів сільського господарства

Подрібнення, або фракційний склад відходів для пресування, має становити від одного до трьох міліметрів. Для висушування подрібненої сировини економічно доцільно використовувати вакуумні пристрої. Вологість сировини для паливного брикету повинна становити 10–12%. Процес пресування необхідно проводити на спеціальному обладнанні [3], за двостадійною схемою. Перша стадія відбувається на невеликих швидкостях виконавчих механізмів до 1 м/с. При цьому відбувається ущільнення

пресувальної суміші за рахунок пустот між часточками і часткової деформації самих часточок. На цій стадії може виникнути міжмолекулярне зчеплення. Друга стадія – імпульсне стискання. На цій стадії відбувається перехід пружних деформацій в пластичні, внаслідок чого структура брикету вирівнюється, відділяється природний лігнін і деякі смоли, які полімеризуються всередині і на поверхні брикету. Внаслідок швидкого стискання виділяється тепло, яке сприяє полімеризації лігніну і смол. Двостадійний спосіб одержання паливних брикетів має ряд переваг: зменшення енергетичних витрат; не використовуються в'язучі хімічні добавки; брикети мають високу щільність 1,1–1,4 т/куб. м; теплотворну здатність до 4,4 ккал/кг; залишок попелу не перевищує 3% [1].

Слід зазначити, що при сушінні подрібненого матеріалу важкі метали залишаються в сировині. Після виготовлення брикетів або пелет їх відправляють на склад, де в подальшому можуть використовувати як паливо в різних установках. При спалюванні брикетів або пелет, виготовлених із відходів сільського господарства, утворюється зола, яка може використовуватись в якості добавки до органічних добрив, при цьому важкі метали при високих температурах можуть утворювати окисли, а потім і солі, які менше піддаються міграції в рослини.

Вуглець, кисень, водень і азот називають органогенними елементами, оскільки з них складаються органічні речовини, які формують близько 95% маси сухої речовини рослин. Вони надходять в рослини переважно у вигляді CO₂, O₂ і H₂O. Решта 5% становлять зольні елементи (залишаються після спалювання рослин – калій, кальцій, магній, фосфор).

Однак окремі тканини і органи істотно відрізняються за вмістом золи. Так, зерно містить 3% золи від маси сухої речовини, листя – 10–15%, трав'янисті стебла і коріння – 4–5%. Загальна кількість хімічних елементів, залучених у біологічний колообіг, і їх співвідношення багато в чому залежать від групи організмів (рослини, тварини, людина). Хімічний склад живих організмів визначає характер обміну речовин між організмом і середовищем. Один і той же хімічний елемент різні рослини утилізують в різних кількостях (табл. 3).

Таблиця 3 – Приблизний вміст деяких елементів в золі рослин, %

Культура	Продукція	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Пшениця	Зерно	48	30	3	12
	Солома	10	30	20	6
Соняшник	Насіння	40	25	7	12
	Стебло	3	50	12	7
Горох	Зерно	30	40	5	6
	Солома	8	25	35	8
Гречка	Солома	3	30	17	6
Жито	Солома	5	12	9	4

Після того, як посів буде зібрано, відходи сільського господарства (солому, стебла, лушпиння) збирають, відправляють на підприємство з виготовлення паливних брикетів та пелет, причому виробничі потужності з перероблення відходів необхідно розташовувати ближче до місця їх утворення.

Висновки

1. Надходження важких металів з ґрунту в рослини на сьогоднішній день є серйозною екологічною проблемою, внаслідок якої продукти харчування людини та тварин, а також відходи сільського господарства забруднюються важкими металами.

2. Переробка рослинних відходів в паливні брикети та пелети є досить ефективним екологічним рішенням, що дає змогу зв'язати важкі метали та запобігти їх міграції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. П.Г. Кириєнко, В.И. Калашникова, Е.Н. Варламов. Производство топливных брикетов из органических отходов. Экология и промышленность, №3, С. 87–90.
2. Пат. 98672 Україна, МПК (2006.01) С10L 5/44. Спосіб одержання паливного брикету / Кириєнко П.Г., Кобрін В.М., Нечипорук М.В., Мірсултанова Л.Р., Бюл. №11, від 11.06.2012 р.
- 3 Пат. 109598 Україна, МПК (2006.01) В30В 11/10, В27N 3/20. Пристрій для виготовлення брикетів / Кириєнко А.П., Кириєнко П.Г., Калашнікова В.І., Угрюмов М.Л., Бюл. №17, від 10.09.2015 р.
4. Г.А. Кроїк Токсикологічні аспекти накопичення та розподілу важких металів у ґрунтах промислових агломерацій. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали VI Міжнародної наукової конференції. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2011. – С. 15–18.
5. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий, продукции растениеводства. М. 1992 г. С. 13–14.
6. Біоенергетика замість газу / Гелетуха Г., Железна Т. (Біоенергетична асоціація України). Економічна правда. [Електронний ресурс]. Джерело: <http://www.epravda.com.ua/publications/2015/01/9/520368/>.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2020 і прийнята до друку після рецензування 20.07.2020

REFERENCES

1. Kirienko, P.G., Kalashnikova, V.I., & Varlamov, E.N. (2014). Production of fuel briquettes from organic waste. *Ekologija i promyshlennost'*, 3, 87-90. (in Russian)
2. Kyrijenko, P.G., Kobrin, V.M., Nechiporuk, M.V., & Mirsultanova, L.R. (2012). The method of obtaining fuel briquettes. *Pat. 98672 Ukrai'na, MPK (2006.01) S10L 5/44*. *Bjul. №11, vid 11.06.2012 r.* (in Ukrainian).
3. Kyrijenko, A.P., Kyrijenko, P.G., Kalashnikova, V.I., & Ugrjumov, M.L. (2015). Device for making briquettes. *Pat. 109598 Ukrai'na, MPK (2006.01) B30B 11/10, B27N 3/20*. *Bjul. №17, vid 10.09.2015 r.* (in Ukrainian).
4. Kroik, G.A. (2011). Toxicological aspects of accumulation and distribution of heavy metals in soils of industrial agglomerations. *Bioriznomanittja ta rol' tvaryn v ekosystemah: Materialy VI Mizhnarodnoi' naukovoi' konferencii* (pp. 15-18). Dnipropetrovs'k: Vyd-vo DNU. (in Ukrainian).
5. Methodological guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils, crop production. (1992). Moskva. (in Russian)
6. Heletukha, H., & Zheliezna, T. (Bioenergetychna asociacija Ukrai'ny). (2015). Bioenergy instead of gas. *Ekonomichna pravda*. Retrieved from: <http://www.epravda.com.ua/publications/2015/01/9/520368/>. (in Ukrainian).

The article was received 02.04.2020 and was accepted after revision 20.07.2020

Кириєнко Петро Григорович

кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії, екології та експертних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

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

e-mail: p.kirienko@khai.edu

Клочко Тетяна Олександрівна

старший викладач, екологічний аудитор кафедри хімії, екології та експертних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

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

e-mail: t.klocko@khai.edu

Хоменко Ірина Євгенівна

провідний інженер кафедри хімії, екології та експертних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

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

e-mail: khomenko.19.10@gmail.com

Дурневич Ганна Михайлівна

студентка кафедри хімії, екології та експертних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

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

e-mail: anna.durnevich.99@gmail.com

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

UDC 504.064.2

Tetiana I. Kryvomaz, Dr, Professor of Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID: 0000-0002-4161-9702 *e-mail*: ecol@i.ua

Dmytro V. Varavin, Postgraduate student
ORCID ID: 0000-0002-4161-9702 *e-mail*: d.varavin@icloud.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

WAYS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE URBANIZED ENVIRONMENT IN CONNECTION WITH THE COVID-19

***Abstract.** Pandemics of the past have caused all major urban transformations and have affected architecture, design, and infrastructure. The built environment is formed under the influence of diseases and precautions designed to ensure the population's health, hygiene, and comfort. Construction trends have always reflected the ability to evolve after the crisis, and in the context of the COVID-19 pandemic, the most vulnerable to the risk of infection was densely populated cities. Creating an environmentally safe environment to withstand epidemics and other possible emergencies requires a radical overhaul of planning theories and new urban space models. It is necessary to increase the spatial functionality and decentralization of megacities by increasing the potential of micromobility and new transport strategies. Emergency modeling with the help of digital technologies allows for creating an operational system of response and forecasting various scenarios of development of ecologically dangerous situations. High-quality criteria for the built environment parameters, which are used in green construction, aimed at preserving human health, are becoming relevant. Strategies include increasing natural light, improving ventilation, eliminating hazards from the air and surfaces, using natural materials, and landscaping. Modern technologies provide various automatic cleaning strategies with the use of built-in devices for sanitary spraying, disinfecting lighting, and temperature treatment of premises, contactless building management technologies.*

***Key words:** environmental safety; urban environment; COVID-19; green building*

Т.І. Кривомаз, Д.В. Варавін

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

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОБЕЗПЕКИ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА У ЗВ'ЯЗКУ З ПАНДЕМІЄЮ COVID-19

***Анотація.** Пандемії минулого стали приводом для всіх значних трансформацій міст і впливали на архітектуру, дизайн та інфраструктуру. Побудоване середовище сформовано під впливом хвороб та запобіжних заходів, розроблених для забезпечення здоров'я, гігієни та комфорту населення. Тенденції будівництва завжди відображали здатність еволюціонувати після кризи, а в умовах пандемії COVID-19 найбільш вразливими до ризику зараження виявились густонаселені мегаполіси. Створення екобезпечного середовища для протистояти епідеміям та іншим можливим надзвичайним ситуаціям потребує докорінного перегляду теорій планування та розробки нових моделей міського простору. Необхідно підвищувати просторову функціональність та децентралізацію мегаполісів із збільшенням потенціалу мікромобільності та новими транспортними стратегіями. Моделювання надзвичайних ситуацій за допомогою цифрових технологій дозволяє створити оперативну систему реагування і прогнозування різних сценаріїв розвитку екологічно небезпечних ситуацій. Актуальними стають високі критерії якості параметрів побудованого середовища, які застосовуються у зеленому будівництві та спрямовані на збереження здоров'я людей на всіх етапах життєвого циклу будівель. Суттєвими факторами є збільшення природного освітлення, поліпшення вентиляції, усунення небезпечних чинників з повітря та поверхонь, використання природних матеріалів, оздоровче озеленення приміщень. Сучасні технології передбачають різноманітні стратегії автоматичного очищення з використанням вбудованих в інтер'єри приладів для санітарного обприскування, дезінфікуючого освітлення та температурної обробки приміщень, а також безконтактні технології управління будівлями.*

***Ключові слова:** екологічна безпека; урбанізоване середовище; COVID-19; зелене будівництво*

Вступ

Сьогодні вже очевидно, що внаслідок пандемії COVID-19 світ змінився назавжди і всі подальші плани мають бути узгоджені з особливими вимогами та заходами щодо запобігання поширенню захворювання. Пандемія вплинула на всі сфери людського життя, що потребує докорінних змін у способах взаємодії та середовища існування людей. Особливо це стосується урбанізованих територій з великою концентрацією населення, що збільшує небезпеку зараження та ризику поширення вірусу. Ця глобальна пандемія суттєво вплинула на наше особисте та професійне життя і має пряме відношення до самих основ міського планування та теорії та практики архітектури [7, 22]. Нинішня криза охорони здоров'я обумовлює необхідність розвитку побудованого середовища для підвищення рівня безпеки, що допомагає запобігти поширенню інфекцій. Це стосується планування, забудови та облаштування урбанізованих територій, а також способів взаємодії людей та нових шляхів функціонування людини у побудованому

середовищі. І саме зелене будівництво є ефективним інструментом для трансформації урбанізованого середовища у відповідності до екобезпеки нового способу існування людей в умовах пандемії і у постпандемічний період. Слід відзначити, що критерії та аспекти зеленого будівництва можуть послужити основою для нових стандартів екобезпеки взаємодії людей в урбанізованому середовищі. Адже в концепції зеленого будівництва передбачено не тільки мінімізацію впливу будівельної галузі на навколишнє середовище, але й акцентовано увагу на збереженні здоров'я та покращенні комфорту і якості життя людей у побудованому середовищі. Вже зараз очевидно, що світ змінився назавжди і ніколи не стане таким, як до пандемії. Замість того, щоб бідкатись та впадати у розпач від невтішних прогнозів, треба зосередитись на пошуку шляхів вирішення проблеми. Найбільш актуальні зараз мультидисциплінарні дослідження спрямовані на заохочення до пошуку нових ідей, формування сучасних тенденцій та теорій планування урбанізованих територій, щоб забезпечити необхідний захист від інфекційних захворювань [22]. Професіонали в галузі архітектури та містобудування, дизайну побудованих середовищ та екобезпеки вже переключили свою увагу на пошук нових ідей для захисту населення у постпандемічну еру [7, 13, 17, 22].

Постановка завдання

Мета даного дослідження: аналіз ефективних рішень та пошук шляхів підвищення рівня екобезпеки урбанізованого середовища у зв'язку з пандемією COVID-19. В узгодженні з метою визначено наступні завдання:

- узагальнити досвід минулих пандемій в аспекті змін, які відбулися у побудованому середовищі внаслідок адаптації до нових гігієнічних вимог;
- проаналізувати особливості взаємодії людей з урбанізованим середовищем в умовах пандемії COVID-19;
- визначити напрямки тенденцій та заходів, які необхідно впровадити для підвищення рівня екобезпеки міських просторів і інфраструктури, а також нових технологій планування будівель у постпандемічний період.

Результати досліджень

Насамперед слід зазначити, що у XXI ст. людство вже потерпало від багатьох епідемій. Найбільш відомими вважають епідемію важкого гострого респіраторного синдрому SARS у 2002–2004 рр. (викликана коронавірусом SARS-CoV), епідемію свинячого грипу у 2009–2010 рр. (вірус грипу A/H1N1), епідемію близькосхідного респіраторного синдрому MERS у 2012 р. (коронавірус MERS-CoV), а також епідемію хвороби, спричиненої вірусом Ебола у 2014–2015 рр. [1, 2, 4]. Спалах COVID-19 вперше було зафіксовано в грудні 2019 р. і вже 30 січня ВООЗ оголосила надзвичайну ситуацію міжнародного масштабу в галузі охорони здоров'я, а 11 березня 2020 р. епідемію було офіційно визнано пандемією [28]. В результаті порівняння генетичних даних SARS-CoV-2 з геномами інших коронавірусів доведено, що новий вірус з'явився в результаті природного відбору і «не є лабораторною конструкцією чи цілеспрямовано керованим вірусом» [8].

Вірусологи вже давно попереджали, що світу слід готуватись до глобальних пандемій і протягом всієї історії віруси і бактерії були безжальними

селекціонерами людства [4]. Водночас пандемії минулого стали приводом для всіх значних трансформацій міст і впливали на архітектуру, дизайн та інфраструктуру. Починаючи з інтер'єрів і закінчуючи міським плануванням, наше побудоване середовище сформовано під впливом хвороб, які атакували людство протягом всієї історії його існування. Багато тенденцій в архітектурі та урбанізмі, які ми бачимо сьогодні, походять від запобіжних заходів, вжитих для забезпечення здоров'я, гігієни та комфорту міських жителів.

З моменту, коли люди перейшли від кочового життя до осілого, виникла проблема утилізації відходів та підтримання чистоти. Для мінімізації ризиків поширення інфекційних захворювань, люди переробили дизайн інтер'єру, архітектуру та інфраструктуру поселень. З розвитком та розростанням поселень актуальності набули проблеми водопостачання та каналізації. У XIV ст. внаслідок бубонної чуми відбулася фундаментальна перебудова міст, з'явилися великі площі та відкриті громадські простори, відокремилися карантинні зони. Без спалаху холери не було б реконструкції центру Лондона і санітарних інновацій. В епоху промисловості холера та тиф спонукали уряд до санітарної реформи. Ці епідемії сприяли розробці систем водопостачання та водовідведення, а проведення підземного трубопроводу обумовило розширення та вирівнювання вулиць, що кардинально змінило вигляд міста. Третя пандемія чуми в 1855 р. змінила дизайн всього: від водостічних труб до порогів дверей та фундаментів будівель [22, 12].

У XX ст. інфекційні захворювання відігравали роль рушійних факторів оновлення міст. Архітектори-модерністи розглядали дизайн як ліки від хвороби перенаселених міст, де періодичні спалахи туберкульозу, черевного тифу, поліомієліту та іспанського грипу підштовхували до очищення міських нетрів, житлових реформ та нових методів управління відходами [15, 18, 23]. Естетику модерну пов'язують із запобіжними заходами від інфекційних хвороб XX ст., зокрема туберкульозу. Модернізм характеризується стерильністю, сталлю, склом, великими світлими просторами [21]. Окрім естетичної привабливості, ці риси втілювали модерністські ідеї щодо цілющих ефектів світла, повітря та природи. Архітектори модернізму розробляли будівлі з великими вікнами, балконами, з покращеною вентиляцією та відокремленням індустріальних та житлових функціональних зон. Світлі поверхні з сучасними матеріалами створювали враження стерильності та чистоти, підкреслюючи лікувальні властивості середовища [14]. Архітектурні конструкції відображали стиль епохи чистоти форм з відмовою від орнаментів на потребу санітарно-гігієнічних вимогам. Таким чином, тенденції будівництва завжди відображали здатність еволюціонувати після кризи [19, 23].

В умовах нинішньої кризи охорони здоров'я найбільш вразливими до ризику зараження виявились мегаполіси. Густионаселені міста перетворились у джерела розповсюдження інфекції, а передмістя та приватний сектор виявились найбільш безпечними місцями в період пандемії [28]. Можливість працювати дистанційно і доставка всього необхідного до місця проживання у комбінації з свіжим повітрям та природою стали вагомими стимулами для багатьох людей перебратися у передмістя або навіть у сільську місцевість не тільки на періоди карантину. Можливо, внаслідок пандемії вдасться знизити темпи урбанізації, особливо завдяки розвитку сучасних цифрових технологій, що надають можливість для дистанційної праці та навчання. Під час пандемії близькість людей до густионаселених міст створює додаткові ризики і виявлено

кореляцію між щільністю населення та підвищенням рівня захворюваності COVID-19 [22]. Пандемія ще раз підтвердила доцільність децентралізації мегаполісів, і концепція «центр поруч», прописана в стратегії розвитку міста Києва, стає надзвичайно актуальною у кризових умовах [20]. Все необхідне для комфортного життя повинне знаходитись на відстані пішої доступності від місця проживання: лікарні, торгівельні центри, школи, дитячі садки та інші заклади першої необхідності. Дотримання соціальної дистанції потребує докорінного перегляду теорій планування у всіх типах будівель, створення нових моделей та конфігурацій міського простору [22, 26]. Нові підходи у плануванні передбачають розширення міст по горизонталі з більш доступними відкритими просторами, що важливо для запобігання розповсюдженню інфекцій та хвороб [23, 24].

Перебудова вуличного простору потрібна для того, щоб зробити міські райони більш стійкими до реагування на надзвичайні ситуації, протистояти епідеміям та іншим можливим надзвичайним ситуаціям будь-якого роду в майбутньому. Соціальна дистанція є першочерговим способом стримування розповсюдження вірусу, тому формат громадських просторів потребує відповідних змін. У місцях традиційного скупчення людей необхідно підвищувати просторову функціональність та чітко планувати потоки переміщення населення міст. Системи імітаційного моделювання розраховують рух потоків людей в різних сценаріях і пропонують раціональні рішення для підвищення рівня безпеки. Коронавірус спонукав владу обмежити доступ до більшості громадських приміщень та великих торгових площ. Зі зростанням популярності он-лайн торгівлі та служби доставок в умовах ізоляції великі торгівельні центри поступово втрачають свою актуальність. Ресторани і кафе в нових умовах повинні збільшити відстань між столиками та розширити проходи для відвідувачів і персоналу. Ця пандемія може принципово змінити спосіб діяльності громадських закладів у майбутньому [19].

Модифікація зон відпочинку та зелених міських насаджень полягає у переході взаємодії людей з природою у містах на новий рівень із створенням продуманого плану координації щільності потоків людей. Мешканцям міст потрібна фізична взаємодія з живими рослинами для покращення фізичного та психічного здоров'я населення. Зелені зони розглядають у якості інструментів переважання і соціалізації, які забезпечують можливість відновлення після стресу ізоляції, де люди можуть бачити один одного на безпечній відстані. Новим трендом стане децентралізована мережа зелених насаджень і лаконічне облаштування великих природних територій, яке дозволить людям комфортно проводити час на природі, зберігаючи безпечну дистанцію [17]. Вертикальні міські сади, тераси та впровадження систем зелених дахів допоможе вирішити більшість проблем самоізоляції і водночас забезпечить стійкий розвиток міст в узгодженні з принципами зеленого будівництва [8, 27]. Для зменшення ризиків під час самоізоляції доцільно ініціювати розвиток міського сільського господарства [22]. Зелені дахи позиціонують як п'ятий фасад будівель для місць відпочинку та вирощування окремих елементів харчового раціону. Однак під час проектування зелених дахів, призначених для виробництва харчових продуктів, можуть знадобитися додаткові розрахунки для дотримання особливих вимог екобезпеки [5]. Актуальними стають інтегровані підходи з використанням новітніх проектів та технологій з архітектурними підходами зеленого будівництва [15].

Транспортні стратегії. Під час карантину значно скоротились транспортні переміщення, що призвело до значних скорочень викидів та позитивно вплинуло на стан навколишнього середовища у багатьох мегаполісах [10]. В епоху постпандемії необхідні альтернативні транспортні рішення із збільшенням потенціалу мікромобільності та розвитком мультимодального транспорту. Першочергова перевага надається пішоходам та велотранспорту, як найбільш сприятливим для здоров'я та довкілля способам пересування у місті. Нові транспортні плани передбачають розширення мережі велосипедних та пішохідних доріжок з безпечними маршрутами в усіх міських зонах. Париж і Мілан вже оприлюднили свої плани по створенню сотень кілометрів нових велосмуг для забезпечення соціальної дистанції та сприяння підтриманню здоров'я людей [11]. У стратегії розвитку Києва також передбачено розвиток велотранспорту та облаштування нових пішохідних зон у столиці, і дійсно, останніми роками спостерігаються значні зрушення у цьому напрямку [20]. Слід зазначити, що всі ці заходи, як і надання переваги громадському і альтернативним видам транспорту, є основою транспортного планування інфраструктури у зеленому будівництві. Проте громадський транспорт в умовах пандемії потребує суттєвих трансформацій із відмежуванням безпечного простору для кожного пасажера, захисних екранів, вентиляції та регулярної санації сучасними способами.

Соціальні комунікації. Фізична ізоляція є загальноприйнятою універсальною стратегією, проте цей запобіжний захід призвів до цілої низки соціальних та психофізичних наслідків у суспільстві [18]. Необхідність дистанційних комунікацій та цифрова трансформація під час карантину змінила форми соціальних взаємодій, і у деяких сферах ці зміни набувають довгострокового характеру. Нова гібридна форма комунікацій офф-лайн та он-лайн впливає на функціонування міст, формат житла, медицину, цифрові сервіси і навіть на відносини між людьми. Вплив обмежувальних заходів на повсякденне життя має довгострокові наслідки, що призводять до глибинних трансформацій соціальних взаємодій. COVID-криза значно підвищила рівень тривожності людей та суттєво знизила ступінь довіри населення до мас-медіа [1].

Завдяки пандемії процес діджиталізації урбаністичних просторів пришвидшує оберти. Все більше сфер життя переходить в он-лайн – робота, освіта, спорт, магазини, розваги та культурні зв'язки. Таким чином, зменшується потреба у традиційних фізичних просторах, на зміну яким приходять віртуальні платформи [18]. Цифровий світ значною мірою визначає стиль, спосіб життя, уподобання, інтереси, сприйняття реальності у всіх сенсах. Хоча нові технології створюють додаткові труднощі, водночас вони відкривають нові можливості застосовування інноваційних рішень для розвитку SMART-city і віртуальних програм в урбаністичному середовищі. Зростає запит на моделювання надзвичайних ситуацій за допомогою цифрових технологій, що дозволяють створити оперативну систему реагування і прогнозування наслідків різних сценаріїв розвитку екологічно небезпечних ситуацій. Глобальна пандемія занурила людей у абсолютно новий світ і ініціювала цифрову трансформацію у всіх сферах діяльності. За кілька місяців пандемія сформувала нову альтернативну віртуальну реальність, поширення якої не припиниться навіть після карантину [7]. Штучний інтелект і безконтактні технології отримали новий поштовх для розвитку, і після кризи людство вступить у нову цифрову еру. Посилена залежність від цифрових

комунікацій триватиме після пандемії та впливатиме на дизайн та функціонування урбанізованих середовищ. У тренді підвищення екобезпеки побудованого середовища із застосуванням інноваційних принципів зеленого будівництва та пошук альтернативних варіантів цифрової трансформації для створення більш стійкого та безпечного простору.

Дизайн приміщень. Для запобігання поширенню COVID-19 важливо розуміти потенційну динаміку передачі інфекції. ВООЗ рекомендує дотримуватись відстані 1,5-2 м між особами для мінімізації ризику зараження, проте нещодавні дослідження підтверджують гіпотезу про передачу вірусу на відстань понад 2 м від зараженої людини [28]. Дослідники університету штату Оклахома змоделивали різні умови навколишнього середовища та руху повітря і з'ясували, що соціальної дистанції 2 м достатньо, тільки якщо атмосферне повітря є статичним [25]. Вірусні частинки можуть передаватися як повітряно-крапельним шляхом, так і через прямі та опосередковані контакти. Віріони можуть безпосередньо осідати на поверхнях або переноситись повітряними потоками, тому важливо визначити джерела турбулентності в приміщенні [15]. Інженери продовжують працювати у напрямку пошуку рішень для знезараження та захисту. Вже розроблено різноманітні варіанти пристроїв, які знижують ризики зараження: пристрої для відкриття дверей ногою, захисний екран для обличчя, пристрій для дезінфекції гаджетів, санітайзери у вигляді браслетів та розпилювачів різної форми. Компактний ультрафіолетовий рециркулятор можна легко зробити з недорогих комплектуючих і деталей, надрукованих на 3D-принтері. Таким пристроєм освітні установи можуть забезпечувати себе без значних фінансових витрат [9].

Багатоповерхові будівлі внаслідок високої щільності людей стали зонами підвищеного ризику під час пандемії, особливо це стосується спільних зон, ліфтів та вузьких проходів, де неможливо дотримуватись безпечної відстані [12, 28]. Людям потрібні будинки, які можуть забезпечити соціальну ізоляцію та ефективний захист від інфекцій, що повинно знайти відображення у майбутніх стратегіях проектування будівель. Дослідження поширення інфекцій повітряно-крапельним шляхом у приміщеннях показало, що 80% інфекційних захворювань передаються при дотику до забруднених поверхонь [28]. Джерелом інфекції може стати будь-яка поверхня, якої торкаються люди. У майбутніх проектах необхідно передбачити можливість безконтактного виклику ліфтів та автоматичного відкриття дверей, ширші коридори та дверні отвори, додаткові сходи та збільшення кількості перегородок, які дозволять уникати контактів з іншими мешканцями [22]. Тому в умовах пандемії особливої актуальності набувають безконтактні технології, наприклад програми управління ліфтами, дверми та усіма вимикачами за допомогою спеціального додатку у смартфоні [25].

У постпандемічний період високий пріоритет буде надаватися самодостатнім будівлям та відокремленому способу життя [6]. У нагоді стануть стратегії зеленого будівництва щодо енергоефективних систем опалення та вентиляції, підвищення якості внутрішнього середовища будівель. Розробляються індивідуальні проекти щодо альтернативних способів водопостачання та виробництва продуктів харчування. Будинки перестануть бути статичними об'єктами і стануть динамічними модульними системами, які можна буде змінювати у відповідності до нових потреб.

В умовах карантину люди ще більше часу проводять у штучному побудованому середовищі, тому саме зараз слід згадати про високі критерії якості параметрів внутрішніх приміщень, які застосовуються у зеленому будівництві. Стратегії, спрямовані на збереження здоров'я людей, які тривалий час перебувають у приміщеннях, включають збільшення природного освітлення, поліпшення вентиляції, усунення токсичних речовин у повітрі, використання природних матеріалів, оздоровче озеленення приміщень [22]. У зв'язку з цим життєво важливо проектувати будівлі з великими вікнами, терасами на даху, балконами та внутрішніми двориками [16]. Віртуальні експерименти на основі моделювання повітряних потоків дозволяють визначити небезпечні зони і виявити інші фактори, які можуть призвести до поширення вірусу. Суттєве підвищення екобезпеки досягається шляхом корекції системи вентиляції, зміни режиму провітрювання приміщення, установки перегородок та захисних екранів та ін. Навіть проста перестановка меблів може значно знизити ризик передачі інфекції і при цьому не потребує значних фінансових витрат. Дизайнери інтер'єрів надаватимуть перевагу гігієнічним та антибактеріальним матеріалам, які легко піддаються санітарній обробці [23]. Сучасні технології пропонують різноманітні стратегії автоматичного очищення з використанням вбудованих в інтер'єри приладів для санітарного обприскування, дезінфікуючого освітлення та температурної обробки приміщень [24].

Домашній офіс. Режим дистанційної роботи як альтернативний механізм праці було розроблено ще у 1970-х роках. Під час карантину навіть компанії, які категорично не підтримували концепцію віддаленої роботи, були змушені дозволити співробітникам працювати вдома. Практично всі відмічали позитивний момент від того, що не доводиться витратити час на дорогу до роботи [22]. Але робота з дому виявилась справжнім викликом для тих, у кого не було можливостей відокремитись від інших членів родини. Крім того, не всім вдалося ефективно зорганізуватись у досягненні балансу між роботою та приватним життям, що негативно відобразилось на результатах праці і практично всі потерпали від соціальної ізоляції [26]. З огляду на те, що навіть після закінчення карантину більше людей працюватиме вдома, в сучасному інтер'єрному плануванні необхідно приділити більше уваги облаштуванню робочого місця вдома. Новий формат житла передбачає зміну просторової організації для відокремлення роботи від дозвілля, дітей від дорослих, оперуючи у більшості випадків обмеженою площею. В стандартах зеленого будівництва чітко прописані критерії організації домашнього офісу, зокрема відзначається необхідність звукоізоляції, контроль відблисків і освітлення, технічне обладнання, ергономічні меблі [7]. Девелопери повинні замислитись, якими будуть будинки, щоб було зручно жити і працювати в компактному просторі. Перші поверхи житлових центрів доцільно переобладнати в коворкінги, куди можна буде спуститися з власної квартири, попрацювати в спокійній атмосфері і повернутися додому у будь-яку мить. При оцінці будівельних проєктів згідно з критеріями зеленого будівництва за домашній офіс нараховуються спеціальні бали, оскільки це зменшує транспортні викиди та підвищує показники працездатності при раціональній організації робочого місця та ефективному плануванні.

Нова офісна концепція. Великі компанії вже відмовляються від оренди великих офісів, розраховуючи на те, що частина людей буде працювати вдома.

Однак постійно працювати вдома підходить не всім працівникам і такий режим не може забезпечити повноцінного функціонування багатьох компаній, тому після карантину частина людей повернеться в офіси. Але пандемія триває, і вже прогнозують поширення нових інфекційних захворювань, тому доведеться кардинально змінити загальну концепцію офісних приміщень [24]. Тенденція відкритого спільного офісного простору вже втратила свою актуальність [7]. Необхідність дотримання соціальної дистанції обумовлює перехід від структурованого офісного середовища до більш гнучких конструкцій з мобільними перегородками. Компанії планують застосовувати ультрафіолетове бактерицидне опромінення для глибокої дезінфекції офісів вночі та кімнат для переговорів під час перерв [19]. У пошуках кращих варіантів природної вентиляції та здорового дизайну звертаються до технологій зеленого будівництва. Фахівці з нерухомості активно обговорюють зміни у структурі попиту на офіси і шляхи адаптації офісних приміщень до нових вимог.

Тимчасове переобладнання лікарень. Пандемія COVID-19 представляє безпрецедентний виклик для систем охорони здоров'я на міжнародному рівні. Медичні заклади перевантажені, більшість країн за кілька тижнів побудували польові та тимчасові лікарні або повторно використали інші типи будівель та приміщення, щоб додати тисячі ліжок. Основні стратегії, що використовуються в системах охорони здоров'я під час пандемії, включають модульні конструкції або трансформацію підходящих приміщень у тимчасові лікарні [7]. У лікарні Vic (Мельбурн, Австралія) на автостоянці побудували тимчасове відділення реанімації, що складається зі збірних двоповерхових контейнерів. Модульну конструкцію було споруджено на стоянці лікарні Лейшеншань (Ухань, Китай). Тут розмістилося 1600 ліжок у збірних модулях в сталевих каркасах над бетонними фундаментами. Італійський архітектор і професор спроектував капсули для інтенсивної терапії в транспортному контейнері під назвою CURA. Відсіки з'єднані надувними коридорами та оснащені біологічними системами (CURA, Мілан, Італія). Конференц-центр Javits у Нью-Йорку перетворено у тимчасову польову лікарню на 2910 ліжок для пацієнтів з COVID-19. Виставочний центр Excel Nightingale (Лондон, Великобританія) перетворився у лікарню на 500 місць, обладнану вентиляторами та потужною системою нагнітання кисню. Надувна лікарня швидкої допомоги у місті Пачука (Мексика) площею 1000 квадратних метрів підготовлена для щоденного огляду до 80 пацієнтів з COVID-19. В медичному центрі UCSF (затока Сан-Франциско, США) встановлено два відкритих намети, що функціонують як приміщення для сортування та невідкладної допомоги, місця очікування та лікування для прогнозованого напливу пацієнтів з COVID-19 [28].

Модульна будівельна стратегія, що стає все популярнішою в умовах пандемії COVID-19, зарекомендувала себе як ефективний захід у кризових ситуаціях [26]. Це важливо для задоволення різноманітних вимог медичних служб із готовими стандартизованими компонентами, завдяки яким будівлі розширюють функціональні можливості та простір для лікування та карантину [18]. Адаптивне повторне використання також є ефективним та динамічним підходом до створення аварійних об'єктів. Під час пандемії спортивні споруди, стоянки та інші будівлі перетворюються на медичні установи та тимчасові лікарні. Розробляються вимоги для більш ефективних, результативних та

гнучких планів багатофункціонального просторового використання у разі виникнення нових криз [16]. Ця стратегія вигідна в поєднанні з іншими передовими технологіями у будівельному секторі, особливо з концепцією зеленого будівництва.

Обговорення результатів

За минулими прогнозами ООН, до 2050 року 70% населення світу повинно жити в містах, однак тепер закрадається сумнів щодо подібного сценарію розвитку подій. Внаслідок пандемії більш ймовірним здається сповільнення урбанізації і початок поступової деурбанізації, що відкриває нові перспективи для розвитку сільських територій та маленьких міст. Епоха зтяжненого карантину з особливими вимогами до гігієни, соціальної дистанції, здорового способу життя ставить під питання сам факт існування мегаполісів у їх сучасному вигляді. Цей процес сприятиме покращенню стану навколишнього середовища і екобезпеки, розвитку зеленого будівництва і оздоровленню людства. Є шанси, що побудоване середовище зміниться на краще, як це вже відбувалось в історії людства, коли після пандемій розвивались нові архітектурні стилі.

Парадоксально, але завдяки пандемії нові тенденції планування міського середовища зосередились на аспектах здоров'я населення – від стимулювання фізичної активності до забезпечення психологічної та ментальної рівноваги. Згідно з прогнозами постпандемічна архітектура буде розвиватись у напрямку врівноваження психосоціальних проблем та підвищення рівня екобезпеки мегаполісів. Особливої актуальності набувають завдання адаптації соціально значимих об'єктів до роботи в умовах після пандемії коронавірусної інфекції з використанням імітаційного моделювання. Такі моделі дозволяють перевірити різні сценарії функціонування місць масового скупчення людей з урахуванням переміщення потоків. Результати імітаційного моделювання можна використовувати для організації простору оптимальним чином з метою зниження щільності потоку людей з одночасним збільшенням пропускної спроможності.

Життя після пандемії COVID-19 ніколи не вже не буде як раніше. Багато заходів, прийнятих під час надзвичайної ситуації, вже стали частиною повсякденного життя, змінили звички та поведінку людей. Під цим впливом будуть змінюватися підходи до архітектури та містобудування, причому як у негативному, так і у позитивному сенсі. Поки що урбаністичне середовище не пристосовано до вимог екобезпеки в умовах пандемії, але люди швидко вчаться, бо тільки такий підхід забезпечує виживання. Пандемія не триватиме вічно, але під її впливом зміниться не тільки стиль взаємодії людей, а й побудоване середовище [17]. Нові підходи до планування міської інфраструктури та дизайну приміщень підвищать екобезпеку урбаністичних територій і знизять щільність населення у мегаполісах.

Нова парадигма урбосередовища, захищеного від пандемій, вдосконалює існуючі стратегії проектування на всіх рівнях – від дизайну інтер'єру до планування міста. Однак вибір найкращої антивірусної стратегії залежить від багатьох факторів і передбачає довгострокові реформи. Оптимальним базисом для створення екобезпечного міського середовища нового типу стануть стандарти зеленого будівництва. Багато питань все ще вимагають подальших

мультидисциплінарних досліджень у пошуку шляхів подолання сьогоденних і майбутніх пандемічних атак та надзвичайних ситуацій на всіх рівнях безпеки.

Від будівельної галузі очікують формування нових стандартів і правил, що відповідають вимогам екобезпеки в епоху пандемічних загроз. Конкурентну перевагу отримують ті компанії, які змогли своєчасно адаптуватись і запропонували інноваційні проекти у відповідності до нових цінностей і потреб. Пандемія COVID-19 переконливо продемонструвала необхідність перегляду стратегій проектування та теорій планування урбаністичних територій та будівель. Уроки, отримані під час пандемії, переконують в необхідності створення здорового та стійкого побудованого середовища на підґрунті стандартів зеленого будівництва.

Висновки

1. Пандемії минулого лежать в основі трансформацій урбаністичного середовища і протягом всієї історії людства впливали на архітектуру, дизайн та інфраструктуру міст, які сформувалися під тиском запобіжних заходів, розроблених для забезпечення здоров'я, гігієни та комфорту населення.

2. Тенденції будівництва завжди відображали здатність еволюціонувати після кризи, а в умовах пандемії COVID-19 найбільш вразливими до ризику зараження виявились густонаселені мегаполіси, тому для протидії епідеміям та іншим можливим надзвичайним ситуаціям необхідно створити нові стратегії міського простору і екобезпечного середовища.

3. Моделювання надзвичайних ситуацій за допомогою цифрових технологій дозволяє створити оперативну систему реагування і прогнозування різних сценаріїв розвитку екологічно небезпечних ситуацій. Необхідно підвищувати просторову функціональність та децентралізацію мегаполісів із збільшенням потенціалу мікромобільності і новими транспортними стратегіями.

4. Актуальними стають високі критерії якості параметрів побудованого середовища, які застосовуються у зеленому будівництві, що спрямовано на збереження здоров'я людей на всіх етапах життєвого циклу будівель та оточуючої інфраструктури, тому стандарти зеленого будівництва рекомендовано у якості фундаментального підґрунтя процесу трансформації урбанізованого середовища для підвищення рівня екобезпеки.

5. Сучасні технології передбачають різноманітні методи автоматичного очищення з використанням вбудованих в інтер'єри приладів для санітарного обприскування, дезінфікуючого освітлення та температурної обробки приміщень, безконтактні технології управління будівлями. Рекомендації включають збільшення природного освітлення, поліпшення вентиляції, усунення небезпечних чинників з повітря та поверхонь, використання природних матеріалів, оздоровче озеленення приміщень.

6. Від будівельної галузі очікують формування нових стандартів і правил, що відповідають вимогам екобезпеки в епоху пандемічних загроз, при цьому конкурентна перевага закріпиться за тими компаніями, які змогли своєчасно адаптуватись і запропонували інноваційні проекти у відповідності до нових цінностей і потреб.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбулін В. П., Даник Ю. Г. Національна безпека України: фокус пріоритетів в умовах пандемії // Вісник НАН України. – 2020. – № 5. – С. 3–18.
2. Кривомаз Т. Актуальна ли опасность коронавирусной атипичной пневмонии? // Фармацевт практик – 2017. – № 1. – С. 18–20.
3. Кривомаз Т.І., Карпенко Н.С. Зелені стандарти для покращення офісної діяльності в нових умовах // Екологічна безпека та природокористування. – 2020. – 34(2). – С. 5–21.
4. Шах С. Пандемия: Всемирная история смертельных инфекций. – 2017. – Альпина нон-фикшн. – 358 с.
5. Abd-Elhafeez M., ElMokadem A., Megahed N., El-Gheznawy D. Methodology for the design and evaluation of green roofs in Egypt // Port-Said Engineering Research Journal. – 2016. – 20(1). – P. 35–43.
6. Ali M., Dom M., Sahrur M. Self-sufficient community through the concepts of collective living and universal housing // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2012. – 68. – P. 615–627.
7. Allam Z., Jones D. Pandemic stricken cities on lockdown. Where are our planning and design professionals (now, then and into the future) // Land Use Policy. – 2020. – 97. – 1048052 [PMC free article].
8. Andersen K.G., Rambaut A., Lipkin W.I., Holmes E.C., Garry R.F. The proximal origin of SARS-CoV-2. // Nature Medicine. – 2020. – 26 – P. 450–452.
9. Belzunegui-Eraso A., Erro-Garcés A. Teleworking in the context of the Covid-19 crisis // Sustainability. – 2020. – 12(9). – P. 36–62.
10. Bourrouiba L. Turbulent gas clouds and respiratory pathogen emissions: Potential implications for reducing transmission of COVID-19 // JAMA. – 2020. – 323(18). – P. 1837–1838.
11. Campisi T., Acampa G., Marino G., Tesoriere G. Cycling master plans in Italy: The I-BIM feasibility tool for cost and safety assessments // Sustainability. – 2020. – 12(11). – P. 23–47.
12. Capolongo S., Rebecchi A., Buffoli M., Letizia A., Carlo S. COVID-19 and cities: From urban health strategies to the pandemic challenge. A decalogue of public health opportunities // Acta Biomedica. – 2020. – 91(2). – P. 13–22.
13. CDC. Centers for Disease Control and Prevention; 2020. COVID-19 guidance for shared or congregate housing. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/shared-congregate-house/guidance-shared-congregate-housing.html>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 19.11.2020.
14. Chick R., Clifton G., Peace K., Propper B., Hale D., Alseidi A., Vreeland T. Using technology to maintain the education of residents during the COVID-pandemic // Journal of Surgical Education. – 2020. – 77(4). – P. 729–732.
15. Cirrincione L., Plescia F., Ledda C., Rapisarda V., Martorana D., Moldovan R.E., Cannizzaro E. COVID-19 pandemic: Prevention and protection measures to be adopted at the workplace // Sustainability. – 2020. – 12(9). – P. 3–36.
16. Goniewicz K., Khorram-Manesh A., Hertelendy A., Goniewicz M., Naylor K., Burkle F. Current response and management decisions of the European union to the COVID-19 outbreak: A review // Sustainability. – 2020. – 12(9). – P. 18–38.
17. Hakovirta M., Denuwara N. How COVID-19 redefines the concept of sustainability // Sustainability. – 2020. – 12(9). – P. 27–37.
18. Hishan S., Ramakrishnan S., Qureshi M., Khan N., Al-Kumaim N. Pandemic thoughts, civil infrastructure and sustainable development: Five insights from COVID-19 across travel lenses // Talent Development & Excellence. – 2020. – 12. – P. 1690–1696.
19. Horve P., Lloyd S., Mhuireach G., Dietz L., Fretz M., MacCrone G., Ishaq S. Building upon current knowledge and techniques of indoor microbiology to construct the next era of

- theory into microorganisms, health, and the built environment // *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. – 2020. – 30. – P. 219–235.
20. Kryvomaz T., Varavin D. Applying of green building standards for implementation of the city development strategies in Kyiv // *Useful*, 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://useful.academy/3-1-2019-0003-varavin>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 19.11.2020.
21. Megahed N. Photocatalytic technology in architectural context: From science to societal debates // *Indoor and Built Environment*. – 2013. – 23(4). – P. 603–614.
22. Megahed N.A., Ehab M.G. Antivirus-built environment: Lessons learned from Covid-19 pandemic // *Sustainable Cities and Society*. – 2020. – 61. – P. 102–350.
23. Musselwhite C., Avineri E., Susilo Y. Editorial JTH 16 – the Coronavirus Disease COVID-19 and implications for transport and health // *Journal of Transport & Health*. – 2020. – 16 [PMC free article].
24. Nicola M., Alsafi Z., Sohrabi C., Kerwan A., Al-Jabir A., Iosifidis C., Agha R. The socio-economic implications of the coronavirus and COVID-19 pandemic: A review // *International Journal of Surgery*. – 2020. – 78. – P. 185–193.
25. OSU researchers examine social distancing models, encourage caution // *Oklahoma State University*, 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://news.okstate.edu/articles/communications/2020/osu-researchers-examine-social-distancing-models-encourage-caution.html>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 19.11.2020.
26. Scarfone R., Coffin S., Fieldston E., Falkowski G., Cooney M., Grenfell S. Hospital-based pandemic influenza preparedness and response: Strategies to increase surge capacity // *Pediatric Emergency Care*. – 2011. – 27(6). – P. 565–572.
27. World Green Building Council (WGBC) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.worldgbc.org/what-green-building>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 19.11.2020.
28. World Health Organization (WHO) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.who.int>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 19.11.2020.

Стаття надійшла до редакції 03.07.2020 і прийнята до друку після рецензування 23.10.2020

REFERENCES

1. Horbulin, V.P., & Danyk, Yu.H. (2020). Natsionalna bezpeka Ukrainy: fokus prioritetiv v umovakh pandemii [National security of Ukraine: focus of priorities in a pandemic]. *Visnyk NAN Ukrainy*, 5, 3-18. (in Ukrainian)
2. Kryvomaz, T.I. (2017). Aktual'na li opasnost' koronavirusnoj atipichnoj pnevmonii? [Is the danger of coronavirus atypical pneumonia relevant?]. *Farmacevt praktik*, 1, 18-20. (in Russian)
3. Kryvomaz, T., & Karpenko, N. (2020). Green standards for improving office activities in new conditions. *Environmental Safety And Natural Resources*, 34(2), 5-21. doi:<http://dx.doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.5-21> (in Ukrainian)
4. Shah, S. (2017). *Pandemija: Vsemirna ja istorija smertel'nyh infekcij* [Pandemic: A Worldwide History of Fatal Infections]. Al'pina non-fikshn. (in Russian)
5. Abd-Elhafeez, M., Elmokadem, A., Megahed, N., & El-Gheznavy, D. (2016). Methodology for the design and evaluation of green roofs in Egypt. *Port-Said Engineering Research Journal*, 20(1), 35-43.
6. Ali, M., Dom, M., & Sahrum, M. (2012). Self-sufficient community through the concepts of collective living and universal housing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 68, 615-627.

7. Allam, Z., & Jones, D. (2020). Pandemic stricken cities on lockdown. Where are our planning and design professionals (now, then and into the future). *Land Use Policy*, 97, 1048052 [PMC free article].
8. Andersen, K.G., Rambaut, A., Lipkin, W.I., Holmes, E.C., & Garry, R.F. (2020). The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature Medicine*, 26, 450-452.
9. Belzunegui-Eraso, A., & Erro-Garcés, A. (2020). Teleworking in the context of the Covid-19 crisis. *Sustainability*, 12(9), 36-62.
10. Bourouiba, L. (2020). Turbulent gas clouds and respiratory pathogen emissions: Potential implications for reducing transmission of COVID-19. *JAMA*, 323(18), 1837-1838.
11. Campisi, T., Acampa, G., Marino, G., & Tesoriere, G. (2020). Cycling master plans in Italy: The I-BIM feasibility tool for cost and safety assessments. *Sustainability*, 12(11), 23-47.
12. Capolongo, S., Rebecchi, A., Buffoli, M., Letizia, A., & Carlo, S. (2020). COVID-19 and cities: From urban health strategies to the pandemic challenge. A decalogue of public health opportunities. *Acta Biomedica*, 91(2), 13-22.
13. COVID-19 guidance for shared or congregate housing. CDC. Centers for Disease Control and Prevention. (2020). Retrieved 19.11.2020 from: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/shared-congregate-house/guidance-shared-congregate-housing.html>.
14. Chick, R., Clifton, G., Peace, K., Propper, B., Hale, D., Alseidi, A., & Vreeland, T. (2020). Using technology to maintain the education of residents during the COVID-pandemic. *Journal of Surgical Education*, 77(4), 729-732.
15. Cirrincione, L., Plescia, F., Ledda, C., Rapisarda, V., Martorana, D., Moldovan, R.E., & Cannizzaro, E. (2020). COVID-19 pandemic: Prevention and protection measures to be adopted at the workplace. *Sustainability*, 12(9), 3-36.
16. Goniewicz, K., Khorram-Manesh, A., Hertelendy, A., Goniewicz, M., Naylor, K., & Burkle, F. (2020). Current response and management decisions of the European union to the COVID-19 outbreak: A review. *Sustainability*, 12(9), 18-38.
17. Hakovirta, M., & Denuwara, N. (2020). How COVID-19 redefines the concept of sustainability. *Sustainability*, 12(9), 27-37.
18. Hishan, S., Ramakrishnan, S., Qureshi, M., Khan, N., & Al-Kumaim, N. (2020). Pandemic thoughts, civil infrastructure and sustainable development: Five insights from COVID-19 across travel lenses. *Talent Development & Excellence*, 12, 1690-1696.
19. Horve, P., Lloyd, S., Mhuireach, G., Dietz, L., Fretz, M., MacCrone, G., & Ishaq, S. (2020). Building upon current knowledge and techniques of indoor microbiology to construct the next era of theory into microorganisms, health, and the built environment. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 30, 219-235.
20. Kryvomaz, T., & Varavin, D. (2019). Applying of green building standards for implementation of the city development strategies in Kyiv. *Useful*. Retrieved 19.11.2020 from: <https://useful.academy/3-1-2019-0003-varavin>.
21. Megahed, N. (2013). Photocatalytic technology in architectural context: From science to societal debates. *Indoor and Built Environment*, 23(4), 603-614.
22. Megahed, N.A., & Ehab, M.G. (2020). Antivirus-built environment: Lessons learned from Covid-19 pandemic. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102-350.
23. Musselwhite, C., Avineri, E., & Susilo, Y. (2020). Editorial JTH 16 – the Coronavirus Disease COVID-19 and implications for transport and health. *Journal of Transport & Health*, 16 [PMC free article].
24. Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., & Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus and COVID-19 pandemic: A review. *International Journal of Surgery*, 78, 185-193.
25. OSU researchers examine social distancing models, encourage caution. (2020). Oklahoma State University. Retrieved 19.11.2020 from: <https://news.okstate.edu/articles/communications/2020/osu-researchers-examine-social-distancing-models-encourage-caution.html>.

26. Scarfone, R., Coffin, S., Fieldston, E., Falkowski, G., Cooney, M., & Grenfell, S. (2011). Hospital-based pandemic influenza preparedness and response: Strategies to increase surge capacity. *Pediatric Emergency Care*, 27(6), 565-572.
27. World Green Building Council (WGBC). Retrieved 19.11.2020 from: <http://www.worldgbc.org/what-green-building>.
28. World Health Organization (WHO). Retrieved 19.11.2020 from: <https://www.who.int>.

The article was received 03.07.2020 and was accepted after revision 23.10.2020

Кривомаз Тетяна Іванівна

доктор технічних наук, кандидат біологічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва та архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0002-4161-9702 **e-mail:** ecol@i.ua

Варавін Дмитро Володимирович

аспірант Київського національного університету будівництва та архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0002-4161-9702 **e-mail:** d.varavin@icloud.com

УДК 628.477

Iryna Kotsiuba¹, PhD, Associate professor, Department of Ecology
ORCID: 0000-0001-8964-3560 *e-mail*: chaszmin30@gmail.com

Sergii Lyko², PhD, Associate professor, Department of Ecology
ORCID: 0000-0001-8964-3560 *e-mail*: chaszmin30@gmail.com

Vitalina Lukianova³, PhD, Associate professor, Department of Ecology and Safety of Vital Functions
ORCID: 0000-0001-8964-3560 *e-mail*: vitalina_lk@i.ua

Yevheniia Anpilova⁴, PhD, Senior Research Scientist, Department of Natural Resources
ORCID: 0000-0002-4107-0617 *e-mail*: anpilova@ukr.net

¹ Zhytomyr State Technological University, Zhytomyr, Ukraine

² Rivne State Humanitarian University, Rivne, Ukraine

³ National Transport University, Kyiv, Ukraine

⁴ Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JUSTIFICATION OF SOLID HOUSEHOLD WASTE ACCUMULATION IN ZHYTOMYR REGION

Abstract. *Practical experience of solid domestic waste (MSW) management in Ukraine and developed countries is analyzed. Theoretical volumes of MSW accumulation taking into account statistical factors are studied. The generalized method of MSW accumulation volumes allows forecasting their formation from the factors and evaluating the morphological composition of MSW in the region. The system for optimizing community waste management at the collection and disposal stage with the quality of the optimality criterion has been proposed. The degree of recycling and the costs of collecting and transporting waste should be taken as a criterion for optimising the urban waste management system at the collection and disposal stage. The quality analysis of the waste management system in the Zhytomyr region made it possible to identify the main problems in municipal waste management and the main reasons for their occurrence. The survey shows that the main problem in the area of waste management is the low efficiency of the existing management system, accompanied by the introduction of outdated and inefficient management methods with the lack of effective interaction of all participants in the waste management process and, above all, the lack of public involvement in solving the problem. The authors concluded that at the present time Zhytomyr city and Zhytomyr Region faced the following problems in the area of solid waste management: the number of spontaneous landfills has increased; the number of modern waste collection bins is insufficient and there are no bins for separate waste collection; the quality of solid waste collection services is inadequate; there is no recycling plant in Zhytomyr; large amount of household waste in the city landfill and absence of monitoring of its impact on the environment.*

Keywords: *waste morphology; volume of solid municipal waste; MSW accumulation; dump; landfill*

© І.Г. Коцюба, С.М. Лико, В.В. Лук'янова, Є.С. Анпілова, 2020

І.Г. Коцюба¹, С.М. Лико², В.В. Лук'янова³, Є.С. Анпілова⁴

¹ Житомирський державний технологічний університет, м. Житомир, Україна

² Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, Україна

³ Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

⁴ Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЖИТОМИРЩИНИ

***Анотація.** Проаналізований практичний досвід поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні та розвинених країнах світу. Вивчено теоретичні обсяги накопичення ТПВ з урахуванням статистичних чинників. Запропонована система оптимізації щодо управління відходами громад на стадії їх збору і видалення за допомогою якості критерію оптимальності. При вирішенні питань оптимізації системи управління міськими відходами на стадії їх збору і видалення в якості критерію оптимальності слід приймати ступінь утилізації відходів (кількість відходів для вторинного використання на основі їх роздільного збору в житловому і нежитловому секторі міста та сортування відходів, збагачених корисними компонентами), витрати на збір і транспортування відходів. Узагальнена методика обсягів накопичення ТПВ дозволяє прогнозувати їх утворення з чинників та оцінений морфологічний склад ТПВ області. Якісний аналіз системи управління поводженням з відходами Житомирської області дозволив визначити основні проблеми у сфері поводження з комунальними відходами та виявити основні причини їх появи. Аналіз, виконаний авторами, показує, що основною проблемою у сфері поводження з відходами є низька ефективність існуючої системи управління, що супроводжується впровадженням застарілих та низькоефективних методів управління з відсутністю ефективної взаємодії всіх учасників процесу поводження з відходами і насамперед відсутність залучення громади для вирішення проблеми. Автори дійшли висновку, що наразі в Житомирі та Житомирській області, у сфері управління та поводження з твердими побутовими відходами наявні наступні проблеми, а саме: збільшилась кількість стихійних сміттєзвалищ; наявна недостатня кількість сучасних контейнерів для збору побутових відходів та відсутні контейнери для роздільного збирання відходів; спостерігається неналежна якість надання послуг з вивезення твердих побутових відходів; відсутній сміттєпереробний завод; виявлено велику кількість побутових відходів на території міського звалища та відсутній моніторинг впливу ТВП на довкілля.*

***Ключові слова:** морфологія відходів; обсяг твердих комунальних відходів; накопичення ТПВ; звалище; полігон*

Постановка проблеми

Основним завданням комплексного вирішення практичних питань управління потоком відходів в місті є організація раціонального поводження з відходами [1], що відповідає сучасним еколого-економічним та ресурсним вимогам і включає мінімізацію витрат на санітарну очистку міста, використання відходів як джерела сировини, забезпечення екологічної безпеки, перехід від полігонного захоронення відходів до їх промислової переробки [2]. Тому, комплексне управління відходами включає в себе організацію збору, видалення

(транспортування), сортування, переробки та захоронення, а також зведення до мінімуму кількості відходів, які направляються на захоронення [1–9].

Першочерговим завданням в розробці схеми управління відходами є організація їх збору, видалення та використання сучасних підходів із залученням методів ДЗЗ та ГПС [10–12, 23]. Зволікання з видаленням відходів з місць їх утворення неприпустимо, бо може призвести до серйозного забруднення міст. Видаляють відходи або на полігони захоронення, або на спеціальні об'єкти для переробки та знешкодження. Поступовий перехід від полігонного захоронення до промислової переробки є основною тенденцією вирішення проблеми відходів у світовій практиці [13]. Промислова переробка відходів знімає протиріччя між містом, де утворюється велика кількість відходів, і передмістям, де відходи повинні бути розміщені. Мінімізація кількості відходів, що направляються в місця їх переробки і захоронення, вирішується на основі включення в схему управління операцій сортування відходів і виділення ресурсів, придатних для подальшого використання [1, 6, 14, 15].

Таким чином, на стадії збору відходів багато в чому визначається ефективність і безпека їх подальшої переробки та захоронення. При вирішенні питань оптимізації системи управління міськими відходами на стадії їх збору і видалення в якості критерію оптимальності слід приймати ступінь утилізації відходів (кількість відходів для вторинного використання на основі їх роздільного збору в житловому і нежитлому секторі міста та сортування відходів, збагачених корисними компонентами), витрати на збір і транспортування відходів.

Аналіз досліджень та публікацій

Проведення порівняльного аналізу використання різновидів систем поводження з ТПВ у світовій практиці показало, що на сьогодні в світі основним напрямком поводження з відходами є перехід від поховання (на полігонах і звалищах) до промислової переробки. Вчені світу посилюють пошуки можливостей використання відходів і їх окремих компонентів в якості вторинних ресурсів, що одночасно сприяє економії сировини і постійній турботі про охорону природи [14–19].

Кінцевою операцією в загальній схемі поводження з відходами в розвинених країнах є промислова переробка [17], що вирішує питання знешкодження, утилізації та ліквідації невикористаного залишку відходів. Перехід від полігонного захоронення відходів до їх промислової переробки в Україні має стати довгостроковою стратегією кардинального вирішення проблеми відходів та, з огляду на дефіцит енергоносіїв, повинен вирішитися в першу чергу [20–22].

Необхідність послідовного впровадження в життя концепції сталого розвитку потребує розробки високоефективного обладнання та процесів утилізації ТПВ, що не лише забезпечить заощадження матеріальних та енергетичних ресурсів, але і зменшить забруднення навколишнього середовища. Найбільшою мірою сучасним вимогам відповідає побудова промислової технології за принципом комбінації різних методів переробки ТПВ (комплексна переробка ТПВ), створення і використання мобільних установок з ліквідації несанкціонованих і закритих звалищ. У зв'язку з цим

одним з пріоритетних напрямів наукових досліджень в екологічній безпеці є розробка, вдосконалення та обґрунтований вибір ефективних шляхів переробки ТПВ.

Тому, основним етапом дослідження було теоретичне обґрунтування утворення твердих побутових відходів на Житомирщині.

Матеріал і основні результати та їх аналіз

Дослідження проводилися на звалищах об'єднаних територіальних громад Житомирщини. Всі побутові відходи мешканців Житомирщини без попереднього сортування складаються на звалищах, що стали джерелом інтенсивного забруднення атмосфери, підземних вод (а загалом загрозою епідемічного стану), що зумовлює необхідність удосконалення процесу складування відходів.

Переважає більшість житлових будинків Житомира є висотними, оснащеними сміттепроводами. Але в інших районних центрах області (Малин, Коростень, Бердичів) ситуація протилежна. Більшість будівель належить до приватного сектору. За наявності сміттепроводу всі ТКВ, що накопичуються, надходять у сміттепровід через приймальні вікна з клапанами, які розміщені на міжповерхових майданчиках. Відходи падають у сміттеприймальну камеру і подаються двірником у сміттезбірний контейнер. За відсутності сміттепроводу мешканці, двірники, прибиральники тощо виносять ТКВ до сміттезбірних контейнерів, частина з яких встановлена групами на контейнерних майданчиках, інші по одному. Санітарний стан сміттепроводів будинків є вкрай незадовільним. Незадовільним є також санітарний стан контейнерів, оскільки в місті не існує системи регулярного їх миття та дезінфекції.

На даний час в Житомирській області практикуються різні технології збирання та вивезення побутових відходів (табл. 1).

Таблиця 1 – Технології збирання та вивезення побутових відходів

Об'єкт	Збір	Вивіз ТКВ
Житловий сектор багатоквартирної забудови	Стандартні незмінювані контейнери місткістю 0,75 чи 1,1 м ³	Збиральні сміттевози за планово-подвірною системою за встановленими маршрутами і графіками, що розроблені перевізниками та погоджені із замовниками послуг – утворювачами відходів
Утворювачі відходів, об'єкти невиробничої сфери	Контейнери місткістю 0,75 чи 1,1 м ³	Планово-регулярна система або заявочна система (за дзвінком при заповненні контейнера)
Індивідуальна забудова (приватний сектор)	Контейнери місткістю 0,75 чи 1,1 м ³	Збиральні сміттевози за планово-регулярною (подвірною) системою за встановленими маршрутами і графіками
	Без використання контейнерів	Сміттевоз рухається за встановленим маршрутом і графіком, а мешканці виносять ТПВ в полімерних пакетах (чи іншій тарі) і завантажують їх у сміттевоз

У м. Житомирі існує розгалужена система заготівельних пунктів вторинної сировини. Основні види вторинної сировини, в тому числі відібраної із ТКВ: макулатура (картон, папір), скло (склотара, склобій), ПТЕФ пляшки, деякі види полімерної плівки, метали (чорні та кольорові), текстиль приймаються на різноманітних пунктах без обмежень обсягів.

Вивіз ТПВ здійснюється на полігони та звалища Житомирської області. На сьогодні в області діє 819 місць видалення відходів. Також слід відзначити, що більшість полігонів ТКВ не відповідають санітарним вимогам з експлуатації полігонів, а значна кількість полігонів вже вичерпала свій ресурс і стала фактором антропогенного навантаження на довкілля.

В області діє 6 полігонів, які, за даними Державної екологічної інспекції, не відповідають екологічним та природоохоронним вимогам – ТОВ «Міськкомунсервіс» Новоград-Волинський, Комунальне виробничо-господарське підприємство в м. Коростень, Малинське МКП «Благоустрій», Радомишльське міське комунальне п-во, ТОВ «Полісся-Екосфера», КП «АТП 0628».

Тверді побутові нетоксичні відходи ІV класу небезпеки розміщуються також на міському сміттєзвалищі, яке розташоване біля с. Грозине Коростенського району на місті відпрацьованих піщаних кар'єрів. Проектна потужність полігону ТПВ – 2679,570 тис. м³. Полігон площею 30 гектарів діє з 1972 року. Обсяг накопичення відходів на міському сміттєзвалищі біля с. Грозине Коростенського району представлено в табл. 2.

Таким чином, утворення відходів з року в рік зростає, тоді як значна частка цих відходів видаляється на полігони та сміттєзвалища, які експлуатуються неналежним чином, внаслідок чого створюють негативний вплив на навколишнє природне середовище та здоров'я людей.

Таблиця 2 – Обсяг накопичення відходів на міському сміттєзвалищі, яке розташоване біля с. Грозине Коростенського району

Місяць	2016 рік, м ³	2017 рік, м ³
Січень	5172,745	1629,498
Лютий	5260,078	1638,437
Березень	1866,495	2636,213
Квітень	2180,792	2039,533
Травень	2239,912	2572,504
Червень	2115,332	2351,073
Липень	1841,984	2270,092
Серпень	1900,546	2358,2
Вересень	2075,740	2459,6
Жовтень	1840,328	1998,3
Листопад	1797,448	1896,5
Грудень	1597,688	1789,6

Проблеми поводження з ТПВ насамперед стосуються міських територій, але є актуальними для сільської місцевості. У більшості населених пунктів відсутні програми поводження з ТПВ та схеми санітарної очистки населених пунктів, не ведуться реєстри об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів і місць їх видалення, все це призводить до утворення стихійних

сміттєзвалищ та погіршення санітарного стану населених пунктів. Співвідношення обсягів ТПВ, що утворюються в міській та сільській місцевості складає 63,8 та 36,2% відповідно.

Якісний аналіз системи управління поводженням з відходами Житомирської області дозволив визначити основні проблеми у сфері поводження з комунальними відходами та виявити основні причини, які їх викликали. Аналіз таблиць показує, що основною проблемою у сфері поводження з відходами є низька ефективність існуючої системи управління, що супроводжується впровадженням застарілих та низькоефективних методів управління з відсутністю ефективної взаємодії всіх учасників процесу поводження з відходами і, в першу чергу, відсутність залучення громади для вирішення проблеми.

Отже, на сьогодні в Житомирі та Житомирській області в сфері управління та поводження з твердими побутовими відходами постали ряд проблем, а саме: збільшилась кількість стихійних сміттєзвалищ (яка з кожним роком зростає, хоч комунальні служби і прибирають); недостатня кількість сучасних контейнерів для збору побутових відходів та відсутність контейнерів для роздільного збирання відходів; неналежна якість надання послуг з вивезення твердих побутових відходів; відсутність сміттєпереробного заводу; велика кількість побутових відходів на території міського звалища та відсутність проведення моніторингу його впливу на довкілля.

Висновки

Таким чином, існуюча структура системи поводження з ТПВ на Житомирщині недосконала, її фрагментарність, роз'єднаність та різномірність за відсутності взаємодії з органами державного управління, службами охорони навколишнього природного середовища та місцевою громадою не забезпечує достатнього рівня контролю за санітарним станом територій, а також збиранням, транспортуванням, знешкодженням та захороненням комунальних відходів.

Отже, наведені дані свідчать, що за дослідженими показниками Житомирщина ще не забезпечує покращення або хоча б стабільності екологічної безпеки через слабкість економічного механізму впливу на оптимізацію природокористування та захист навколишнього середовища, непослідовне, формальне застосування принципу “забруднювач платить”, вузькість бази екологічного оподаткування, відсутність механізмів індексації нормативної бази тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Світова статистика у реальному часі: Worldometers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.worldometers.info/uk/>
2. Human Development Indices and Indicators: 2018 Statistical Update [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://shop.un.org/books/human-dev-indice-indica-2018-77373>
3. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/narpyamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/>

4. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/?fbclid=IwAR0FXwk4juzAggg63FmkoaFcFIJ-QFuRcZXyAQVOWE-vLVKko6LTiHrHiVE>
5. Класифікація твердих муніципальних відходів – передумова формування ефективної системи поводження з їх потоками / Т. А. Сафранов, Т. П. Шаніна, О. Р. Губанова, В. Ю. Приходько // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2014. – Вип. 18. – С. 32–37.
6. Мандзюк І. А. Питання поводження з промисловими та побутовими відходами / І. А. Мандзюк // Екотехнології и ресурсосбережение. – 2003. – № 3. – С. 41–43.
7. Управління екобезпекою міста. / І. М. Третьяков [та ін.]; заг. ред. І. М. Третьяков. – К. : Автограф, 2007. – 244 с.
8. Волкова С.А., Пилипчук Л.Л., Ідаєтов В.А. Відходи – не забруднювачі довкілля, а не використана вторинна сировина // Мат. Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» – К., 2014. – С. 58–61.
9. Коцюба І.Г. Динаміка обсягу накопичення твердих комунальних відходів міста Житомир / Коцюба І.Г., Лико С.М., Лук'янова В.В., Анпілова Є.С. // Екологічна безпека та природокористування. – 2018. – Вип. 1 (25). – С. 33–43.
10. Коцюба І. Г. Прогнозування обсягів утворення твердих побутових відходів в місті Житомирі / І. Г. Коцюба, А. Ф. Щербатюк, Т. Б. Годовська // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: механіко-технологічні системи та комплекси – Харків, 2016 року. – Вип. №7 – С. 95–100.
11. Anpilova, Y., Lukianova, V., and Trofymchuk, O. (2020). Environmental Safety of Motor Transport Enterprises within Urban Areas. Journal of Ecological Engineering, 21(4), pp. 231–236, <https://doi.org/10.12911/22998993/119799>
12. Угода про асоціацію України з ЄС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eu-ua.org/tekst-uhody-pro-asotsiatsiiu>
13. Офіційний сайт Міністерства екології та природних ресурсів. Принципи реформи управління відходами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/timeline/Vidhodi-ta-nebezpechni-rechovini.html>
14. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>
15. Стручок В., Мудра Д. Аналіз національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року щодо проведення інфраструктурних заходів з перероблення твердих побутових відходів // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», Тернопіль, 2018. – С. 292–293.
16. Методичні рекомендації з розроблення регіональних планів управління відходами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://menr.gov.ua/files/docs/nakazy/2019/nakaz_142.pdf
17. Закон України про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19?fbclid=IwAR0xX2J1lQfDh4Ir-87R18f_Us_jl4_a7kQGuKVZ4D-sPxDM-AYFa_afOs
18. Проект закону України про управління відходами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://menr.gov.ua/files/images/news_2019/12042019/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%97%D0%A3_%D0%9F%D1%80%D0%BE_%D0%B2%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B8_12.04.2019.doc
19. Реанімаційний пакет реформ. Громадськість закликає Мінприроди прискорити розробку і внести до ВРУ законопроекти про управління відходами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tpr.org.ua/news/hromadskist-zaklykaje-minpryrody-pryskoryty-rozrobku-i-vnesty-do-vru-zakonoproekty-pro-upravlinnya-vidhodamy/>
20. Коцюба І. Г. Прогнозування сезонного морфологічного складу твердих побутових відходів м. Житомира [Текст] / І. Г. Коцюба // Вісник Приазовського державного

технічного університету: Збірник наукових праць. Серія: Технічні науки. – Маріуполь, 2016. – Вип. 33. – С. 213–222.

21. Лукаш О. В. Несанкціоновані сміттєзвалища Чернігова – осередки поширення інвазійних видів рослин // Мат. Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» – К., 2018. – С. 45–46.

22. Podchashinskiy, Y., Kotsiuba, I., Yelnikova, T. (2017). Math modeling and analysis of the impact of municipal solid waste landfill leachate on the environment. *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 1 (10). p. 4–10.

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91033>

23. Trofymchuk, O., Yakovliev, Y., Klymenko, V., Anpilova, Y. (2019). Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the earth remote sensing. In 19th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings 19th, Science and Technologies in Geology, Exploration And Mining (Vol. 9). STEF92 Technology.

<https://doi.org/10.5593/sgem2019v/1.4/s02.025>

Стаття надійшла до редакції 18.05.2020 і прийнята до друку після рецензування 04.09.2020

REFERENCES

1. Svitova statistika u realnomu chasi [Real-time world statistics]: Worldometers. Retrieved from: <http://www.worldometers.info/uk/> (in Ukrainian)

2. Human Development Indices and Indicators: 2018 Statistical Update. Retrieved from: <https://shop.un.org/books/human-dev-indice-indica-2018-77373>

3. Ministerstvo regionalnogo rozvitku, budivnictva ta zhitlovo-komunalnogo gospodarstva [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine]. Retrieved from: <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferi-povodzheniya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/> (in Ukrainian)

4. Derzhavnij komitet statistiki Ukrayini [State Statistics Committee of Ukraine]. Retrieved from: <http://www.ukrstat.gov.ua/?fbclid=IwAR0FXwk4juzAggg63FmkoaFcFIJ-QFuRcZХуАQVOWE-vLVKko6LTiHpHiVE> (in Ukrainian)

5. Safranov, T. A., Shanina, T. P., Gubanova, O. R., & Prihodko, V. Yu. (2014). Klasifikaciya tverdih municipalnih vidhodiv – peredumova formuvannya effektivnoyi sistemi povodzheniya z yih potokami [Classification of municipal solid waste is a prerequisite for the formation of an effective system for managing their flows]. *Visnik Odeskogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu*, 18, 32-37. (in Ukrainian)

6. Mandzyuk, I. A. (2003). Pitannya povodzheniya z promislovimi ta pobutovimi vidhodami [Issues of industrial and household waste management]. *Ekotehnologii i resursoberezhenie*, 3, 41-43. (in Ukrainian)

7. Tretyakov, I.M. et al. (2007). Upravlinnya ekobezpekyu mista [City eco-safety management]. I.M. Tretyakov (Ed.). Kyiv: Avtograf. (in Ukrainian).

8. Volkova, S.A., Pilipchuk, L.L., & Idayatov, V.A. (2014). Vidhodi – ne zabrudnyuvachi dovkillya, a ne vikoristana vtorinna sirovina [Waste is not an environmental pollutant, not used secondary raw materials]. *Mat. Nacionalnogo forumu «Povodzheniya z vidhodami v Ukrayini: zakonodavstvo, ekonomika, tehnologiyi»*. (pp. 58-61). Kyiv. (in Ukrainian)

9. Kotsiuba, I., Lyko, S., Lukianova, V., & Anpilova, Y. (2018). Computational dynamics of municipal wastes generation in Zhytomyr city. *Environmental Safety And Natural Resources*, 25(1), 33-43. doi:<http://dx.doi.org/10.32347/2411-4049.2018.1.33-43>

10. Kocyuba, I.G., Sherbatyuk, A.F., & Godovska, T.B. (2016). Prognozuvannya obsyagiv utvorenniya tverdih pobutovih vidhodiv v misti Zhitomiri [Forecasting the volume of solid waste generation in the city of Zhytomyr]. *Visnik nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»*. *Seriya: mehaniko-tehnologichni sistemi ta kompleksi*, 7, 95-100. (in Ukrainian).

11. Anpilova, Y., Lukianova, V., & Trofymchuk, O. (2020). Environmental Safety of Motor Transport Enterprises within Urban Areas. *Journal of Ecological Engineering*, 21(4), 231-236. <https://doi.org/10.12911/22998993/119799>
12. Uгода pro asociaciyu Ukrayini z ES [Association Agreement between Ukraine and the EU]. Retrieved from: <https://eu-ua.org/tekst-uhody-pro-asotsiatsiiu>. (in Ukrainian).
13. Principi reformi upravlinnya vidhodami [Principles of waste management reform]. Oficijnij sajt Ministerstva ekologiyi ta prirodnih resursiv.. Retrieved from: <https://menr.gov.ua/timeline/Vidhodi-ta-nebezpechni-rechovini.html>. (in Ukrainian)
14. Nacionalna strategiya upravlinnya vidhodami i Ukrayini do 2030 roku [National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030]. Retrieved from: <https://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>. (in Ukrainian).
15. Struchok, V., & Mudra, D. (2018). Analiz nacionalnoyi strategiyi upravlinnya vidhodami v Ukrayini do 2030 roku shodo provedennya infrastrukturnih zahodiv z pereroblennya tverdih pobutovih vidhodiv [Analysis of the national strategy of waste management in Ukraine until 2030 on the implementation of infrastructure measures for the processing of solid waste]. *Mat. Mizhnarodnoyi naukovu-tehnichnoyi konferenciyi «Fundamentalni ta prikladni problemi suchasni tehnologij»*. (pp. 292-293). Ternopil. (in Ukrainian).
16. Metodichni rekomendaciyi z rozroblennya regionalnih planiv upravlinnya vidhodami [Methodical recommendations for the development of regional waste management plans]. Retrieved from: https://menr.gov.ua/files/docs/nakazy/2019/nakaz_142.pdf. (in Ukrainian)
17. Zakon Ukrayini pro Osnovni zasadi (strategiyu) derzhavnoyi ekologichnoyi politiki Ukrayini na period do 2030 roku [Law of Ukraine on the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the period up to 2030]. Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19?fbclid=IwAR0xX2J1lQfDh4Ir-87RI8f_Us_jl4_a7kQGuKVZ4D-sPxDM-AYFa_afOs. (in Ukrainian).
18. Proekt zakonu Ukrayini pro upravlinnya vidhodami [Draft Law of Ukraine on Waste Management]. Retrieved from: https://menr.gov.ua/files/images/news_2019/12042019/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%97%D0%A3_%D0%9F%D1%80%D0%BE_%D0%B2i%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B8_12.04.2019.doc. (in Ukrainian).
19. Reanimacijnij paket reform. Gromadskist zaklikaye Minprirodi priskoriti rozrobku i vnesti do VRU zakonoproekti pro upravlinnya vidhodami [Resuscitation package of reforms. The public calls on the Ministry of Environment to accelerate the development and submit to the Verkhovna Rada bills on waste management]. Retrieved from: <https://rpr.org.ua/news/hromadskist-zaklykaje-minpryrody-pryskoryty-rozrobku-i-vnesty-do-vru-zakonoproekty-pro-upravlinnya-vidhodamy/>. (in Ukrainian).
20. Kocyuba, I.G. (2016). Prognozuvannya sezonno morfolozichnogo skladu tverdih pobutovih vidhodiv m. Zhitomira. *Visnik Priazovskogo derzhavnogo tehnichnogo universitetu: Zbirnik naukovih prac. Seriya: Tehnichni nauki*, 33, 213–222. (in Ukrainian)
21. Lukash, O.V. (2018). Nesankcionovani smittyezvalisha Chernigova – oseredki poshirennya invazijnih vidiv roslin [Unauthorized landfills in Chernihiv are centers for the spread of invasive plant species]. *Mat. Nacionalnogo forumu «Povodzhennya z vidhodami v Ukrayini: zakonodavstvo, ekonomika, tehnologiyi»*. (pp. 45-46). Kyiv. (in Ukrainian).
22. Podchashinskiy, Y., Kotsiuba, I., & Yelnikova, T. (2017). Math modeling and analysis of the impact of municipal solid waste landfill leachate on the environment. *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 1 (10), 4-10. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91033>
23. Trofymchuk, O., Yakovliev, Y., Klymenko, V., & Anpilova, Y. (2019). Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the earth remote sensing. In *19th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings 19th, Science and Technologies in Geology, Exploration And Mining* (Vol. 9). STEF92 Technology. <https://doi.org/10.5593/sgem2019v1.4/s02.025>.

The article was received 18.05.2020 and was accepted after revision 04.09.2020

Коцюба Ірина Григорівна

завідувач кафедри екології, кандидат технічних наук, доцент Житомирського державного технологічного університету

Адреса робоча: 10005 Україна, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6271-7355> **e-mail:** chaszmin30@gmail.com

Лико Сергій Михайлович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, географії та туризму Рівненського державного гуманітарного університету

Адреса робоча: 33000 Україна, м. Рівне, вул. С. Бандери, 12

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0470-4836> **e-mail:** chaszmin30@gmail.com

Лук'янова Віталіна Віталіївна

кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету

Адреса робоча: 01010, Україна, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8964-3560> **e-mail:** vitalina_lk@i.ua

Анпілова Євгенія Сергіївна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу природних ресурсів Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4107-0617> **e-mail:** anpilova@ukr.net

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

UDK 502.35:528.8

Olexandr A. Shchypytsov¹, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dr Sci. (Geogr.), Professor
ORCID ID: 0000-0002-6285-0663, *e-mail*: oceanography@ukr.net.

Dmitry L. Kreta², PhD, Senior Scientist
ORCID ID: 0000-0001-5897-0008, *e-mail*: dim.leo@gmail.com

Oleksiy G. Lebid², PhD, Senior Researcher, Deputy Director for Science
ORCID ID: 0000-0002-4003-8068, *e-mail*: o.g.lebid@gmail.com

Natalia A. Sheviakina², PhD, Senior Scientist
ORCID ID: 0000-0002-5984-5580 *e-mail*: n.a.sheviakina@gmail.com

¹ State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

² Institute of Telecommunications and Global Informative Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

USE OF REMOTE SENSING RESULTS IN THE TASKS OF NAVIGATIONAL AND HYDROGRAPHIC SITUATION MONITORING

***Abstract.** The paper presents the possibilities of using modern online sources of satellite information in the tasks of monitoring the ecological and navigational-hydrographic situation and building on their basis methods and information technologies to reflect the state of marine waters and operational forecasting of changes in this state. For the tasks of monitoring the ecological and navigational-hydrographic situation, one of the most convenient and informative is the marine environment monitoring service COPERNICUS (CMEMS). This service collects and presents data on observations of spatio-temporal variability of sea water temperature and salinity values, streams parameters, etc. by using specialized artificial satellites Sentinel-1 and Sentinel-2, which intended for use in the mission of a dual satellite with high viewing frequency and high resolution. CMEMS provides, on a regular and systematic basis, information on the physical condition, variability and dynamics of the oceanic and marine ecosystems. The principle of measurement uses natural microwave emissions on the sea surface, which vary depending on the degree of roughness of the sea surface. You can get the parameters of wind direction, atmospheric water vapor, rain speed, sea ice (age, concentration and limit), the length of the snow cover and the water content in the snow.*

High-resolution ice mapping services provide ice classification and floating ice data to navies and shipping companies to ensure safe year-round shipping. The ability of the Sentinel-1 to conduct observations in any weather and during the day or night makes it ideal for accurately determining the location and movement of the vessel at sea. Oil detection applications are used to gather evidence of illegal discharges, analyze the spread of oil spills and search for oil reserves by detecting natural infiltration. Sentinel-1 marine products, in combination with global sea wave models, help determine the direction, wavelength and height of waves on the open sea, as well as help predict the weather, the movement of ships and the use of wave energy. In addition, Sentinel-1 can provide data on the interaction of ocean waves and streams, which allows you to visualize large-scale ocean streams, cold/warm water massifs, coastal streams and internal waves. Software and hardware complexes and information-analytical systems created with the use of these methods and technologies can significantly increase the efficiency and effectiveness of solving problems of environmental monitoring, navigation and hydrographic support of navigation, search and rescue operations in marine waters.

Keywords: remote sensing; ecological monitoring; space images; information technology; navigation and hydrographic situation

О.А. Щипцов¹, Д.Л. Крета², О.Г. Лебідь², Н.А. Шевякіна²

¹ Державна установа "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України", м. Київ, Україна

² Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ НАВІГАЦІЙНО- ГІДРОГРАФІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

Анотація. В роботі представлені можливості використання сучасних онлайн-джерел супутникової інформації в задачах моніторингу екологічної і навігаційно-гідрографічної обстановки та побудови на їх основі методів і інформаційних технологій відображення стану морських акваторій та оперативного прогнозування змін цього стану. Для задач моніторингу екологічної і навігаційно-гідрографічної обстановки однією з найбільш зручних і інформативних є служба моніторингу морського середовища COPERNICUS (CMEMS). Зазначена служба COPERNICUS накопичує та представляє дані спостережень просторово-часової мінливості значень температури та солоності морської води, параметрів течій тощо, отриманих при використанні спеціалізованих штучних супутників Землі Sentinel-1 та Sentinel-2, що призначені для використання в рамках місії зведеного супутника з високою частотою повторного перегляду і високою роздільною здатністю. CMEMS надає на регулярній і систематичній основі довідкову інформацію про фізичний стан, мінливість і динаміку океанічних і морських екосистем. Принцип вимірювання використовує природні мікрохвильові викиди на поверхні моря, які варіюються в залежності від ступеня шорсткості поверхні моря. Можна отримати параметри напряму вітру, атмосферної водяної пари, швидкості дощу, морського льоду (вік, концентрація і межа), протяжності снігового покриву і вмісту води в снігу. Послуги льодового картографування з високою роздільною здатністю забезпечують льодову класифікацію і дані по плавучих крижинах для берегової охорони, військово-морських флотів і судноплавних компаній для забезпечення

безпечного цілорічного судноплавства. Здатність Sentinel-1 вести спостереження в будь-яку погоду і в денний або нічний час робить її ідеальною для точного визначення місцезнаходження і пересування судна в морі. Додатки з виявлення нафти використовуються для збору доказів незаконних скидів, аналізу поширення нафтових розливів і пошуку нафтових запасів шляхом виявлення природного просочування. Морські продукти Sentinel-1 в поєднанні з глобальними моделями морських хвиль допомагають визначити напрямок, довжину хвиль і висоту хвиль у відкритому морі, а також допомагають у прогнозуванні погоди, руху суден і використанні енергії хвиль. Крім того, Sentinel-1 може надавати дані про взаємодію океанських хвиль і течій, що дозволяє візуалізувати великомасштабні океанські течії, масиви холодної/теплої води, прибережні течії і внутрішні хвилі. Створені з використанням вказаних методів і технологій програмно-технічні комплекси й інформаційно-аналітичні системи можуть істотно підвищити оперативність і результативність вирішення задач екологічного моніторингу, навігаційно-гідрографічного забезпечення судноплавства, проведення пошукових і аварійно-рятувальних операцій в морських акваторіях.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі; екологічний моніторинг; космічні знімки; інформаційні технології; навігаційно-гідрографічна обстановка

Вступ

Увага фахівців і вчених всього світу спрямована на освоєння та управління на наукових засадах наявними ресурсами в інтересах збалансованого розвитку. У тому числі світова спільнота має реально оцінити зиски від використання екосистем морів і океанів, для чого необхідно заповнити цілу низку прогалин в наукових знаннях. Міжурядова океанографічна комісія ЮНЕСКО наразі опрацьовує програму Десятиліття (2021–2030) дослідження та ефективної експлуатації Океану.

Україна від самого початку своєї незалежності здійснювала планомірні дослідження Чорного і Азовського морів, включаючи масштабні експедиційні дослідження [1–3]. Зараз в порядку імплементації Десятиліття Океану в НАН України створено Раду з досліджень Світового океану, в програмі досліджень на 2019–2023 роки приділено значну увагу вивченню екологічної і навігаційно-гідрографічної обстановки Чорного і Азовського морів [4].

Основна частина

Аналіз численних досліджень показує, що ефективність контактних методів моніторингу поверхневих вод можна суттєво підвищити за рахунок застосування технологій дистанційного зондування Землі з космосу (ДЗЗ) [5–7]. Методи ДЗЗ в багатьох випадках виявляються більш економічними, оперативними й інформативними, ніж традиційні натурні методи досліджень. Вони все ширше використовуються в самих різних сферах людської діяльності: в економіці, науковій і освітній діяльності, військовій сфері.

Стосовно завдань екологічного і навігаційно-гідрографічного моніторингу морських акваторій їх переваги полягають:

- у високій оглядовості, можливості одержання оперативної інформації про параметри стану морських акваторій на великих ділянках;

- у можливості переходу від дискретної до безперервної картини просторового розподілу значень параметрів стану морських акваторій;
- у можливості одержання інформації про параметри стану морських акваторій у віддалених районах.

Щороку запускаються нові супутники і цілі системи (рої) супутників, їх технічні (роздільна здатність, спектральний діапазон тощо) і функціональні можливості (частота зйомки, створення стереопар тощо) невинно ростуть. Споживачам на їх замовлення надаються як необроблені супутникові знімки, так і попередньо оброблена та дешифрована графічна інформація і навіть результати аналізу графічної інформації за обраним напрямом. Здебільшого вартість супутникової інформації достатньо висока, проте існує ряд проектів гуманітарного, наукового і освітнього спрямування, що надають супутникову інформацію (з певними обмеженнями) безкоштовно.

За результатами вивчення рейтингів авторитетних міжнародних компаній [8] та власних досліджень авторів було визначено ряд кращих на сьогоднішній день безкоштовних і платних джерел супутникової інформації, які можна використовувати для вирішення тематичних аналітичних задач:

- EarthExplorer від USGS
- LandViewer від EOS
- EO Browser і Sentinel Playground від Sentinel Hub
- Copernicus Open Access Hub
- Каталог знімків INPE
- Платформа Soar.

Для задач моніторингу екологічної і навігаційно-гідрографічної обстановки однією з найбільш зручних і інформативних є служба моніторингу морського середовища COPERNICUS (CMEMS). CMEMS базується на розподіленій моделі надання послуг [9]. Служба включає центри поширення продукції (надання послуг) двох типів: Центри моніторингу й прогнозування та Тематичні центри збирання даних TAC.

Зазначена служба COPERNICUS накопичує та представляє дані спостережень просторово-часової мінливості значень температури та солоності морської води, параметрів течій тощо, отриманих при використанні спеціалізованих штучних супутників Землі Sentinel-1 та Sentinel-2, що призначені для використання в рамках місії зведеного супутника з високою частотою повторного перегляду і високою роздільною здатністю [10].

Завдання моніторингу морських акваторій ґрунтуються на можливості реєстрації сучасною дистанційною апаратурою широкого спектру значущих параметрів водного середовища [7]. До таких параметрів відносяться, перш за все:

- гідрооптичні – варіації яких обумовлені флуктуаціями коефіцієнтів розсіяння і поглинання світла при змінах концентрації в товщі води зважених і поглинаючих речовин теригенного і біологічного походжень, або наявністю поверхневих плівок, обумовлених, наприклад, нафтопродуктами;
- температурні – в областях полів течій, апвелінгу, взаємодії турбулентності і внутрішніх хвиль з водною поверхнею та ін.;
- гідроелектричні – солоність.

CMEMS надає на регулярній і систематичній основі довідкову інформацію про фізичний стан, мінливість і динаміку океанічних і морських екосистем як Світового океану, так і Європейських морів, в тому числі Чорного моря.

Принцип вимірювання використовує природні мікрохвильові викиди на поверхні моря, які варіюються в залежності від ступеня шорсткості поверхні моря. Чим шорсткіше море, тим інтенсивніше викиди. Напрямок вітру визначається співвідношенням між горизонтальними і вертикальними поляризаційними характеристиками сигналу і анізотропним розподілом вітрових хвиль. Вектори вітру оцінюються шляхом вимірювання багаточастотних поляриметричних температур яскравості. Також можна отримати параметри атмосферної водяної пари, рідкої води з хмар, швидкості дощу, морського льоду (вік, концентрація і межа), протяжність снігового покриву і вміст води в снігу.

Послуги льодового картографування з високою роздільною здатністю забезпечують льодову класифікацію і дані по плавучих крижинах для берегової охорони, військово-морських флотів і судноплавних компаній для забезпечення безпечного цілорічного судноплавства в акваторіях, де з'являється льодове покриття. Для морського льоду може бути визначена інформація про концентрацію, протяжність, тип, товщину і швидкість дрейфу льоду. Можна також зібрати інформацію про місцезнаходження, розмір та дрейф окремих крижин. Дані подвійної поляризації Sentinel-1 можуть значно поліпшити класифікацію і диференціацію льоду. Завдяки виявленню змін в протяжності льодового покриття Sentinel-1 може бути використаний для оцінки впливу на навколишнє середовище, на прибережні райони і транспорт.

Sentinel-1 використовує широку зону покриття з поліпшеним часом повторного перегляду і здатний потенційно виявляти навіть малі за розміром кораблі (рис. 1). Здатність Sentinel-1 вести спостереження в будь-яку погоду і в денний або нічний час робить її ідеальною для точного визначення місцезнаходження і пересування судна в морі, що дозволяє більш ефективно і економічно використовувати інші засоби забезпечення безпеки, такі як патрульні літаки і кораблі.

Додатки з виявлення нафти використовуються для збору доказів незаконних скидів, аналізу поширення нафтових розливів і пошуку нафтових запасів шляхом виявлення природного просочування. Плями нафти чітко видно на знімках супутника як характерні темні смуги (рис. 2). Більшість нафтових плям викликано тим, що судна спорожнюють трюми перед входом в порт. Виявлення можуть бути співвіднесені з даними, переданими з суден системою автоматичної ідентифікації або системою раннього попередження і стеження для визначення джерел і судового переслідування порушників.

Дані, які стосуються моніторингу розливів нафти, передаються з супутника в режимі реального часу для прийому місцевими наземними станціями, які надають підтримку європейським і національним службам. Аналогічним чином, виявлення природних нафтових витоків з дна моря може дати ключ до пошуку нафти.

Sentinel-1 добре вловлює зміни шорсткості поверхні, викликані вітрами на поверхні моря. Морські продукти Sentinel-1 в поєднанні з глобальними моделями морських хвиль допомагають визначити напрямок, довжину хвиль і висоту хвиль у відкритому морі, а також допомагають у прогнозуванні погоди, руху суден і використанні енергії хвиль. Оцінки вітрових полів також відіграють важливу роль в моніторингу нафтових розливів, допомагаючи знімати сліди від реальних розливів.

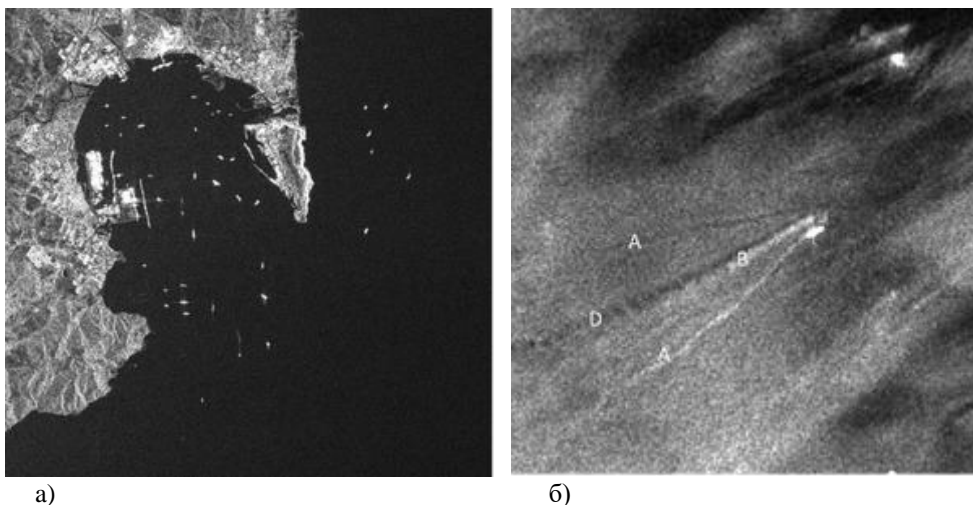


Рис. 1 – Моніторинг суден на знімках Sentinel-1: а) акваторія між Гібралтаром і Альхесирасом, вересень 2017 р.; б) дальній слід за судном

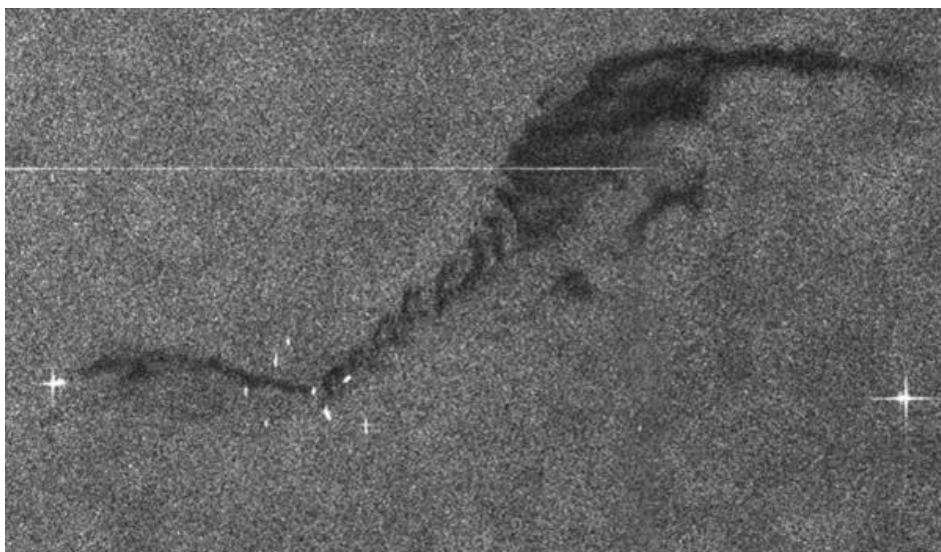


Рис. 2 – Розлив нафти, виявлений біля узбережжя Бельгії (Зебрюгге) 08.10.2015 після зіткнення двох суден

Крім того, Sentinel-1 може надавати дані про взаємодію океанських хвиль і течій, що дозволяє візуалізувати великомасштабні океанські течії, масиви холодної/теплої води, прибережні течії і внутрішні хвилі [8–10].

Дані Sentinel доступні через службу доступу до даних та інформації Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu>). Для отримання доступу до даних достатньо пройти реєстрацію та увійти в службу доступу, виділити область інтересів і ввести критерії пошуку знімків (наприклад знімки видимого діапазону Sentinel-2). За результатами пошуку і вибору необхідний архів даних буде завантажений на комп'ютер користувача. Після розпаковки архіву отриманий набір файлів може бути завантажений в програму ArcGIS для подальшого використання в роботі користувача.

Имя	Тип	Размер	Дата
[.]		<Папка>	19.10.2020 21:39
T35TQL_20201019T085909_B01	jp2	2 961 689	19.10.2020 14:06
T35TQL_20201019T085909_B02	jp2	91 244 591	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_B03	jp2	89 113 015	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_B04	jp2	89 224 481	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_B05	jp2	24 572 027	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_B06	jp2	25 173 028	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_B07	jp2	25 639 536	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_B08	jp2	90 917 886	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_B8A	jp2	25 992 184	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_B09	jp2	2 828 618	19.10.2020 14:06
T35TQL_20201019T085909_B10	jp2	1 809 467	19.10.2020 14:06
T35TQL_20201019T085909_B11	jp2	23 550 022	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_B12	jp2	23 502 194	19.10.2020 14:07
T35TQL_20201019T085909_TCI	jp2	115 990 650	19.10.2020 14:08

Рис. 3 – Набір файлів в завантаженому архіві Sentinel-2

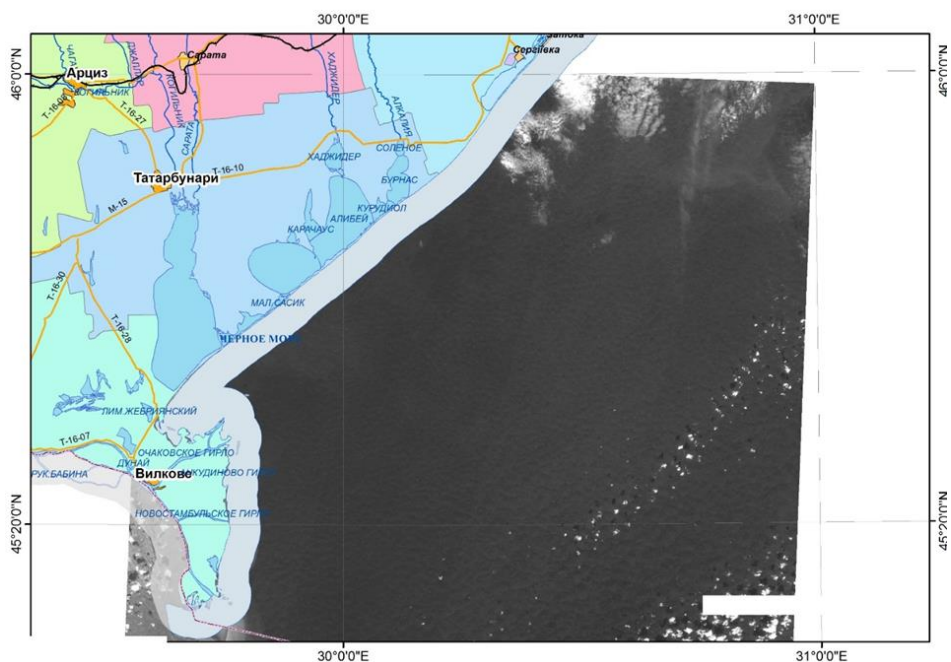


Рис. 4 – Вигляд завантаженого архіву Sentinel-2 в програмі ArcGIS

Тестування швидкодії завантаження було проведено на реальному архіві даних, що має розмір 631 Мб. Час завантаження склав близько 6 хв. при пропускній здатності інтернет-каналу користувача 100 Мб/с. На рис. 3 представлена комплектність файлів в архіві, на рис. 4 – відображення вмісту архіву засобами програми ArcGIS.

Відомі аналоги проблемно-орієнтованих ГІС [11–12] уже продемонстрували високу ефективність їх застосування при вирішенні широкого кола завдань охорони природи й управління природокористуванням для оптимізації екологічної ситуації в акваторії Чорного моря.

Структура інформаційного фонду ГІС визначається характером і предметною спрямованістю прикладних завдань, реалізованих в її складі. При цьому передбачене застосування нових завдань у визначенні закономірностей взаємодії систем і об'єктів. Геомодель місцевості й водних акваторій повинна складатися згідно з наявним картографічним матеріалом, державною статистичною інформацією, окремими вимірами і спостереженнями за результатами натурних досліджень та представляється:

- у растровому форматі у вигляді растрових зображень космічної інформації (поточної й минулих років) і оцифрованих тематичних карт;
- у векторному форматі у вигляді тематичних шарів у середовищі ArcGIS;
- у текстовому форматі у вигляді таблиць бази даних тематичної й статистичної інформації;
- у графічному виді у вигляді діаграм, графіків, символів легенд.

Використання геоінформаційних технологій забезпечує можливості відображення стану акваторій морів та прогнозування на їх основі змін стану, оскільки візуалізацією геопросторових даних засобами ГІС забезпечується гармонізація безлічі структур баз даних у єдине, об'єктно-орієнтоване інформаційне поле. При цьому простота наочного подання даних поєднується зі складністю побудови запитів при формуванні багаторівневої структури підтримки прийняття рішень.

Висновки

Описані методи і технології одержання, відбору, зберігання і передачі параметрів гідрофізичних полів, дистанційно виміряних в морських акваторіях з використанням спеціалізованих штучних супутників Землі, можуть ефективно використовуватись для моніторингу екологічної і навігаційно-гідрографічної обстановки в морських акваторіях, а у поєднанні із засобами прогнозного моделювання – для побудови оперативних прогнозів змін морської обстановки.

Для одержання параметрів гідрофізичних полів та іншої графічної інформації можуть бути використані розглянуті безкоштовні онлайн-сервіси, зокрема служба моніторингу морського середовища COPERNICUS. У окремих випадках для отримання додаткової інформації може виникнути необхідність використання накопичених у профільних установах і організаціях (Державне космічне агентство України та ін.) платних знімків і отриманої на їх основі інформації або ж придбання нових знімків і інформації.

Запропонований процес отримання оперативних океанографічних даних відповідає рекомендаціям і практикам програми «Міжнародний обмін океанографічними даними та інформацією» МОК ЮНЕСКО. Зазначені онлайн-сервіси надають, зокрема, гідрофізичні поля й інші гідрофізичні параметри, отримані шляхом розрахунку за певними математичними моделями на підставі первинних даних супутникових знімків. При практичному використанні вказаних гідрофізичних полів і параметрів необхідно здійснювати періодичну верифікацію розрахункових даних шляхом здійснення аналізу характеристик та вибору технічних засобів вивчення морського середовища і проведення відповідних експедиційних досліджень.

Створені з використанням описаних методів і технологій програмно-технічні комплекси й інформаційно-аналітичні системи можуть істотно підвищити оперативність і результативність вирішення задач екологічного моніторингу, навігаційно-гідрографічного забезпечення судноплавства, проведення пошукових і аварійно-рятувальних операцій в морських акваторіях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Комплексные экспедиционные исследования 4-го рейса НИС «Киев» / Щипцов А.А., Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Лебедь А.Г. // Геофиз. журн. 1996. Т. 18, № 4, С. 83–84.
2. Геология Черного моря. (По результатам геологических и геофизических исследований 5-го рейса НИС «Киев») / Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Стажилов А.Г. и др. – Киев: ОМГОР ННПМ Украины, 1997. – 188 с.
3. Геология, геофизика и гидрография северо-западной части Черного моря / Е.Ф. Шнюков, А.В. Иванников, В.П. Коболев – Киев: Изд-во Государственной гидрографической службы Украины, 1998. – 221 с.
4. Щипцов О.А. Морські дослідження в Україні і світі. Наука про океан у наступному Десятилітті / О.О. Щипцов. О.А. Щипцов // Океанографічний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану), 2019. – №1. – С. 6–26.
5. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг безпеки водних екосистем із застосуванням геоінформаційних технологій. – К.: Інтертехнологія, 2008. – 480 с.
6. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA / [О.М. Трофимчук, В.В. Радчук, Г.Я. Красовський, І.В. Радчук] // Під ред. С.О. Довгого. – К., ФОП Пономаренко Є.В., 2013, 316 с.
7. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря / [С.О. Довгий, Г.Я. Красовський, В.В. Радчук, О.М. Трофимчук та інші] // Під ред. С.О. Довгого. – К., 2010, 260 с.
8. Geospatial world. 2020 report. Available online: <https://www.geospatialworld.net>
9. USGS science for a changing world. 2020. Available online: <https://earthexplorer.usgs.gov>
10. A complete archive of Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, ESA's archive of Landsat 5, 7 and 8, global coverage of Landsat 8, Envisat Meris, MODIS, Proba-V and GIBS products in one place. Available online: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>
11. The aspects of using GIS in monitoring of environmental components // O. Trofymchuk, V. Klymenko, Y. Anpilova, N. Sheviakina, S. Zahorodnya / International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2020 – Albena, Bulgaria, 16–25 August, 2020, P. 581–588.
12. Remote Sensing Monitoring of Biotopes Distribution within Nature Reserve Area // O. Trofymchuk, S. Zahorodnya, N. Sheviakina, I. Radchuk, O. Tomchenko / Journal of Environmental Research, Engineering and Management. – 2020, Vol. 76, No. 3. – pp. 109–120.

Стаття надійшла до редакції 25.05.2020 і прийнята до друку після рецензування 15.09.2020

REFERENCES

1. Shhipcov, A.A., Shnjukov, E.F., Kobolev, V.P., & Lebed', A.G. (1996). Kompleksnyye jekspedicionnyye issledovanija 4-go rejsa NIS «Kiev» [Complex expeditionary research of the 4th cruise of the NIS "Kiev"]. *Geofiz. zhurn.*, 18 (4), 83-84. (in Russian)

2. Shnjukov, E.F., Kobolev, V.P., Stazhilov, A.G. et al. (1997). *Geologija Chernogo morja. (Po rezul'tatam geologicheskikh i geofizicheskikh issledovanij 5-go rejsa NIS «Kiev») [Geology of the Black Sea. (Based on the results of geological and geophysical studies of the 5th cruise of the NIS Kiev)]*. Kiev: OMGOR NNPM Ukrainy. (in Russian)
3. Shnjukov, E.F., Ivannikov, A.V., & Kobolev, V.P. (1998). *Geologija, geofizika i gidrografija severo-zapadnoj chasti Chernogo morja [Geology, geophysics and hydrography of the northwestern part of the Black Sea]*. Kiev: Izd-vo Gosudarstvennoj gidrograficheskoy sluzhby Ukrainy. (in Russian)
4. Shchypytsov, O.A., & Shchypytsov, O.O. (2019). Morski doslidzhennia v Ukraini i sviti. Nauka pro okean u nastupnomu Desiatylitti [Marine research in Ukraine and the world. The science of the ocean in the next decade]. *Okeanohrafichnyi zhurnal (Problemy, metody ta zasoby doslidzhen Svitovoho okeanu)*, 1, 6-26. (in Ukrainian)
5. Krasovskiy, H.Ia. (2008). *Kosmichnyi monitorynh bezpeky vodnykh ekosystem iz zastosuvanniam heoinformatsiinykh tekhnolohii [Space monitoring of aquatic ecosystem safety with the use of geoinformation technologies]*. K.: Intertekhnolohiia. (in Ukrainian)
6. Trofymchuk, O.M., Radchuk, V.V., Krasovskiy, H.Ia., & Radchuk, I.V. (2013). *Monitorynh navkolysnogo seredovyscha z vykorystanniam kosmichnykh znimkiv sputnyka NOAA [Environmental monitoring using NOAA satellite imagery]*. S.O. Dovhyi (Ed.). K.: FOP Ponomarenko Ye.V. (in Ukrainian)
7. Dovhyi, S.O., Krasovskiy, H.Ia., Radchuk, V.V., Trofymchuk, O.M. et al. (2010). *Suchasni informatsiini tekhnolohii ekolohichnoho monitorynhu Chornoho moria [Modern information technologies of ecological monitoring of the Black Sea]*. S.O. Dovhyi (Ed.). Kyiv. (in Ukrainian)
8. Geospatial world. 2020 report. Retrieved from: <https://www.geospatialworld.net>
9. USGS science for a changing world. (2020). Retrieved from: <https://earthexplorer.usgs.gov>
10. A complete archive of Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, ESA's archive of Landsat 5, 7 and 8, global coverage of Landsat 8, Envisat Meris, MODIS, Proba-V and GIBS products in one place. Retrieved from: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>
11. Trofymchuk, O., Klymenko, V., Anpilova, Y., Sheviakina, N., & Zahorodnya, S. (2020). The aspects of using GIS in monitoring of environmental components. In *Proc. International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2020* (Albena, Bulgaria, 16–25 August, 2020). (pp. 581-588).
12. Trofymchuk, O., Zahorodnya, S., Sheviakina, N., Radchuk, I., & Tomchenko, O. (2020). Remote Sensing Monitoring of Biotopes Distribution within Nature Reserve Area. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, 76 (3), 109-120.

The article was received 25.05.2020 and was accepted after revision 15.09.2020

Щипцов Александр Анатолійович

член-кореспондент НАН України, доктор географічних наук, професор, директор Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"

Адреса робоча: Україна, м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 42

ORCID ID 0000-0002-6285-0663 **e-mail:** oceanography@ukr.net.

Крета Дмитро Леонідович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу природних ресурсів Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID 0000-0001-5897-0008 **e-mail:** dim.leo@gmail.com

Лебідь Олексій Григорович

кандидат технічних наук, старший дослідник, заступник директора з наукової роботи Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID 0000-0002-4003-8068 *e-mail:* o.g.lebid@gmail.com

Шевякіна Наталя Анатоліївна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID 0000-0002-5984-5580 *e-mail:* n.a.sheviakina@gmail.com

УДК 532.593

Vitalii V. Yakovlev, DSci, Professor of the Department of Hydrodynamics of Wave and Channel Flows of Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine
e-mail: vvyak@ukr.net

Volodymyr 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

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

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

Oleksandr A. Voskoboinyk, PhD, Associate professor of the Department of Technical Hydromechanics of Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-8114-4433 *e-mail*: alexandr.vsk@gmail.com

Lidiia M. Tereshchenko, PhD, Associate professor of the Department of 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

Andrew V. Voskoboinick, PhD, Associate professor of the Department of Hydrobionics and Boundary Layer Control of Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-8045-8625 *e-mail*: andrew.vsk@gmail.com

Viktoriia V. Bondar, Leader engineer of the Department of Hydrodynamics of Wave and Channel Flows of Institute of Hydromechanics of the NAS Ukraine

Institute of Hydromechanics of the NASU, Kyiv, Ukraine

INFLUENCE OF WATER AREA DEPTH ON WIND WAVES

***Abstract.** A semi-empirical technique for calculating the parameters of wind waves at variable sea depths along the wind acceleration has been developed and presented. This technique allows you to determine the average values of wind wave heights, their length and period depending on the wind velocity, taking into account and without taking into account the heaping of water by wind. Within the framework of the described method, the calculations of wind wave parameters suitable for isobaths $d = 20$ m were performed for a specific study area of the Bistre (Novostambulske) branch of the Danube estuary, for the north-eastern and eastern wind directions. Numerical simulations were performed for the Black Sea in the location of the protection dam of the Maritime approach channel of the Danube-Black Sea deep-sea navigation. Numerical calculations of wind wave transformation in the water area near the protection dam for the most dangerous wind directions in stormy conditions were performed. For mathematical simulation, the maximum values of wind velocity and wave height were used, which were observed during the whole period of research of the Black Sea water area in the*

© В.В. Яковлев, В.А. Воскобійник, В.В. Хомицький, В.О. Ткаченко, О.А. Воскобойник, Л.М. Терещенко, А.В. Воскобійник, В.В. Бондар, 2020

region of the dam. Within the framework of refraction theory, wave transformation calculations have been performed for the most wave-hazardous wind acceleration directions, namely, the north-eastern and eastern wind directions. It is shown that taking into account the heaping of water by wind leads to an increase in the parameters of gravitational waves. The results of numerical simulations have shown that with the increase of wind acceleration exceeding the limit values, the parameters of the waves reach constant values. These values depend on the bathymetry of the seabed, wind velocity and direction. It was found that the increase in the deviation of the free surface of the sea from the undisturbed level significantly depends on the heaping of water by wind. It was found that the relative increase in the wave parameters is observed higher in the east wind direction than in the northeast wind direction in the study area of the Black Sea.

Key words: water area; wind wave; wave motion; numerical simulation; wave height and length; period; heaping of water by wind

**В.В. Яковлєв, В.А. Воскобійник, В.В. Хомицький, В.О. Ткаченко,
О.А. Воскобойник, Л.М. Терещенко, А.В. Воскобійник, В.В. Бондар**

Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

ВПЛИВ ГЛИБИНИ АКВАТОРІЇ НА ВІТРОВІ ХВИЛІ

Анотація. Розроблена та викладена напівемпірична методика розрахунку параметрів вітрових хвиль за змінними глибинами моря уздовж вітрового розгону. Ця методика дозволяє визначити середні значення висот вітрових хвиль, їх довжину і період в залежності від швидкості вітру з урахуванням і без урахування вітрового нагону. В рамках викладеної методики проведені розрахунки параметрів вітрових хвиль, що підходять до ізобат $d = 20$ м, для конкретної досліджуваної ділянки рукава Бистре (Новостамбульське) гирла Дунаю, для північно-східного і східного напрямів вітру. Чисельне моделювання проводилося для акваторії Чорного моря в місці розташування захисної огорожувальної дамби Морського каналу глибоководного судового ходу Дунай – Чорне море. Проведені чисельні розрахунки трансформації вітрових хвиль в акваторії поблизу захисної огорожувальної дамби для найбільш небезпечних напрямків вітру в штормових умовах. Для математичного моделювання використовувались максимальні значення швидкості вітру та висоти хвилі, які спостерігались за весь період досліджень акваторії Чорного моря в районі огорожувальної дамби. В рамках рефракційної теорії виконані розрахунки трансформації хвиль для найбільш хвиленебезпечних напрямків розгону вітру, а саме, північно-східного та східного напрямків вітру. Показано, що врахування вітрового нагону призводить до збільшення параметрів гравітаційних хвиль. Результати чисельного моделювання показали, що зі збільшенням вітрового розгону, що перевищує граничні значення, параметри хвиль виходять на незмінні значення. Ці значення залежать від батиметрії дна моря, швидкості і напрямку вітру. Виявлено, що збільшення відхилення вільної поверхні моря від незбуреного рівня істотно залежить від вітрового нагону. Встановлено, що відносне збільшення параметрів хвилювання спостерігається вище за східним напрямком вітру, ніж за північно-східним напрямком вітру у досліджуваному районі Чорного моря.

Ключові слова: акваторія; вітрова хвиля; хвильовий рух; чисельне моделювання; висота і довжина хвилі; період; вітровий нагін

Вступ

Вітрове хвилювання істотно впливає на діяльність морського транспорту, рибної промисловості, гідротехнічне будівництво та інше. Для проектування та експлуатації таких споруд і конструкцій важливі надійні дані про фактичний та очікуваний стан поверхні морів і океанів. Освоєння природних ресурсів шельфових зон і вирішення наукових завдань, пов'язаних з вивченням взаємодії океану і атмосфери, збільшує вимоги до даних про морське хвилювання. Все це постійно стимулює створення надійних методів розрахунку і прогнозу елементів вітрового хвилювання.

У задачах розрахунку хвильових полів в прибережних акваторіях в останні роки загальноприйнятим став підхід з використанням моделі WAVEWATCH [1–3] для розрахунку генерації хвиль вітром в глибоководних акваторіях. Але для розрахунків у шельфовій зоні і в прибережних водах використовують модель SWAN [4–6]. Поблизу берегів в зонах істотної мінливості донного рельєфу і за наявності гідротехнічних споруд використовуються деталізовані моделі, які добре описують ефекти дифракції хвиль, взаємодії хвиль з донною неоднорідністю і течіями в лінійному і нелінійному наближенні [7–11]. Серед цих моделей в практиці проектування гідротехнічних об'єктів останнім часом все частіше застосовуються моделі, засновані на квазітривимірних рівняннях трансформації хвиль, а також моделі, засновані на двовимірних рівняннях Бусінеска. Ці моделі вимагають значних обчислювальних ресурсів, але в той же час дозволяють враховувати також вплив нелінійних ефектів [12–14].

Зазначені вище моделі є досить складними в застосуванні до конкретних умов і вимагають дуже великих витрат часу на підготовку і аналіз вихідних даних. Тому дуже актуальними є більш спрощені підходи, засновані на розрахунку середніх елементів хвиль певної забезпеченості. Ці елементи, обчислені за різними зв'язками для однакових умов хвилеутворення, відрізняються один від одного в кілька разів, що свідчить про складність багатьох факторів, що впливають на процес розвитку хвилювання. Серед цих факторів треба виокремити такі, як змінне поле вітру, складність конфігурації берегової лінії і інші. З цієї причини для побудови основних залежностей необхідно підбирати «ідеальні» умови. Під «ідеальними» зазвичай приймають такі умови, при яких вітер певної тривалості діє з постійною швидкістю над поверхнею моря в напрямку, перпендикулярному до підвітряної берегової лінії. При цьому глибина моря d повинна бути постійною або не впливати на розвиток хвиль. Нижче ми наведемо методику розрахунку середніх елементів вітрових хвиль з урахуванням змінної глибини моря на шляху розгону. Чисельне моделювання проводилося для акваторії Чорного моря в місці розташування захисної огорожувальної дамби Морського каналу глибоководного судового ходу Дунай – Чорне море.

Мета роботи – розробка напівемпіричної методики розрахунку параметрів вітрових хвиль за змінними глибинами моря уздовж розгону, яка дозволить визначити середні значення висот вітрових хвиль, їх довжину і період в залежності від швидкості вітру з урахуванням і без урахування вітрового нагону.

Методика розрахунку

Під час інженерних розрахунків широко використовують емпіричні залежності між середньою висотою хвилі \bar{h} і середнім періодом вітрової хвилі \bar{T} від швидкості вітру V_w (зазвичай на висоті $z = 10$ м над незбуреним рівнем моря), відстані (розгоном хвиль) L від підвітряного берега до розрахункової точки, тривалості дії вітру t і глибини моря d . Такі залежності за «ідеальних» умов для середніх значень висоти і періоду хвилі мають вигляд

$$\bar{h} = F_1(V_w, L, t, d), \quad \bar{T} = F_2(V_w, L, t, d),$$

де F_1 і F_2 – деякі функції параметрів V_w, L, t і d .

На основі аналізу експериментальних даних в роботі [15] отримані наступні апроксимуючі залежності для розрахунку середньої висоти хвилі

$$\bar{h} = h_0 \operatorname{th} \left[\frac{0.1(gd/V_w^2)^{0.8}}{gh_0/V_w^2} \right], \quad (1)$$

де h_0 визначається з урахуванням швидкості вітру V_w , його розгону L або тривалості дії t за формулами

$$h_0(L) = 0.16 \frac{V_w^2}{g} \left\{ 1 - \left[1 + 6.0 \cdot 10^{-3} (gL/V_w^2)^{0.5} \right]^2 \right\},$$

$$h_0(t) = 0.16 \frac{V_w^2}{g} \left\{ 1 - \left[1 + 1.04 \cdot 10^{-3} (gt/V_w)^{0.635} \right]^2 \right\}.$$

За значеннями безрозмірних величин gL/V_w^2 і gt/V_w треба визначити значення $h_0(L)$ і $h_0(t)$ та за меншими з них прийняти середню висоту хвиль згідно з рекомендаціями робіт [16, 17].

Середній період вітрової хвилі \bar{T} визначається за формулою [15]

$$\bar{T} = 6.2\pi \frac{V_w}{g} \left(g \bar{h} / V_w^2 \right)^{0.625}.$$

Середня довжина вітрової хвилі $\bar{\lambda}$ при відомому значенні \bar{T} є дійсним позитивним коренем дисперсійного рівняння [18]

$$\bar{\lambda} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi d}{\bar{\lambda}}.$$

За відсутності відомостей про тривалість дії вітру допускається [16] для попередніх розрахунків приймати: для водосховищ і озер – $t = 6$ годин; для морів – $t = 12$ годин; для океанів – $t = 18$ годин. Значення граничного розгону L_{cp} для визначення параметрів вітрових хвиль треба приймати згідно з рекомендаціями роботи [16] по табл. 1.

Таблиця 1 – Значення граничного розгону хвиль

Швидкість вітру, V_w , м/с		20	25	30	40
Граничний розгін L_{cp} , км	На морях	800	600	300	100
	На океанах	1600	1200	600	200

За глибинами, змінними вздовж розгону, розрахунок параметрів вітрового хвилювання рекомендується проводити за такою методикою, яка узагальнює викладені в роботах [16, 17] підходи. Профіль дна вздовж лінії розгону в цьому випадку, починаючи від підвітряного боку, апроксимується кусково-постійними функціями. При цьому, весь шлях розгону розбивається на ділянки довжиною l_i та глибиною $d_i = |d_0 + d_{end}| / 2$, де d_0 та d_{end} – глибина початку і кінця кожної ділянки, які визначені таким чином, щоб виконувалася умова $|d_0 - d_{end}| \leq \varepsilon$. Далі для кінця першої (від підвітряного боку) ділянки визначається середня висота хвилі, відповідно до залежності (1). На другій ділянці з середньою глибиною d_2 розрахунок середньої висоти хвилі проводиться за наступним алгоритмом. Спочатку по залежності (1) визначається розгін Δl_1 такий, щоб отримати середнє значення висоти хвилі \bar{h}_1 за глибини d_2 . Далі за формулою (1) розраховується середня висота хвилі \bar{h}_2 на другій ділянці з глибиною d_2 і розгоном $l_2 + \Delta l_1$, де l_2 – довжина другої ділянки, причому $l_2 + \Delta l_1$ не повинні перевищувати значення L_{cp} . Середні висоти хвиль для всіх наступних ділянок визначаються за аналогічною схемою.

Якщо для якої-небудь ділянки шляху розгону з середньою глибиною d_{j+1} немає такого Δl_j , при якому досягається значення \bar{h}_j для глибини d_{j+1} , то методика стає некоректною. В цьому випадку необхідно покласти $\bar{T}_{j+1} = \bar{T}_j$, і значення середньої висоти хвилі \bar{h}_{j+1} на глибині d_{j+1} визначається як функція від середньої висоти хвилі \bar{h}_j на глибині d_j за формулою [18]

$$\bar{h}_{j+1} = \bar{h}_j \sqrt{\frac{[1 + \frac{4\pi d_j}{\lambda_j \text{sh}(4\pi d_j / \lambda_j)}] \text{th}(2\pi d_j / \lambda_j)}{[1 + \frac{4\pi d_{j+1}}{\lambda_{j+1} \text{sh}(4\pi d_{j+1} / \lambda_{j+1})}] \text{th}(2\pi d_{j+1} / \lambda_{j+1})}}. \quad (2)$$

Висоту хвилі i %-ої забезпеченості $h_{i\%}$ слід визначати за формулою

$$h_{i\%} = k_i \bar{h}, \quad (3)$$

де k_i – коефіцієнти i %-ої забезпеченості – визначаються відповідно до рекомендацій [8].

Перше обвалення хвилі i % забезпеченості на глибині d_{br} визначається згідно з:

– критерієм Миша [19] – $h_{1\%br} / \lambda_{br} > 0.14 \operatorname{th}(2\pi d_{br} / \lambda_{br})$, при $d_{br} / \lambda_{br} > 0.1$,

– критерієм Мунка [20] – $h_{i\%dr} \geq d_{br} / 1.28$, при $d_{br} / \lambda_{br} < 0.1$.

Якщо після обвалення висота хвиль i %-ої забезпеченості, обчисленої по (1)–(3), більше $d/1.28$, то вважаємо $h_{i\%} = d/1.28$.

Вітровий нагін S для відкритого узбережжя для глибин змінних вздовж розгону можна визначити аналогічно викладеній вище методиці розрахунку параметрів вітрових хвиль з трансцендентного рівняння

$$gS^2 = 3.0 \cdot 10^{-6} LV_w^2 \ln[d/(d + S)], \quad (4)$$

яке представлено в роботі [20] для кожної окремої ділянки постійної глибини d_j . Таким чином, всі параметри вітрових хвиль, розраховані за викладеною вище методикою, будуть визначатися над збуреним рівнем моря $z = S$.

Результати розрахунків

В рамках викладеної моделі проведено розрахунки параметрів вітрового хвилювання за підходом до ізобат $d = 20$ м досліджуваної ділянки рукава Бистре (Новостамбульське) гирла річки Дунай, для напрямків розгонів вітру північний схід (ПнС) і схід (С) та превалюючих швидкостей (V_w) [21–23].

Результати розрахунків наведені на рис. 1 і в таблиці 2, де $L, d, S, \eta, \bar{h}, \bar{\lambda}, \bar{T}$ – відповідно розгін вітру (м), глибина моря чи океану (м), вітровий нагін (м), відхилення вільної поверхні моря від рівня $z = 0$ і $z = S$ (м), середня висота (м), середня довжина (м) і середній період вітрової хвилі (с) з урахуванням (штрихова лінія) і без урахування (суцільна лінія) вітрового нагону. На рис. 1 крива 1 відповідає відхиленням вільної поверхні моря ($\eta = S + \bar{h}/2$) з урахуванням вітрового нагону, крива 2 – відхиленням вільної поверхні моря ($\eta = \bar{h}/2$) без урахування вітрового нагону ($S = 0$) і крива 3 – з урахуванням вітрового нагону (S).

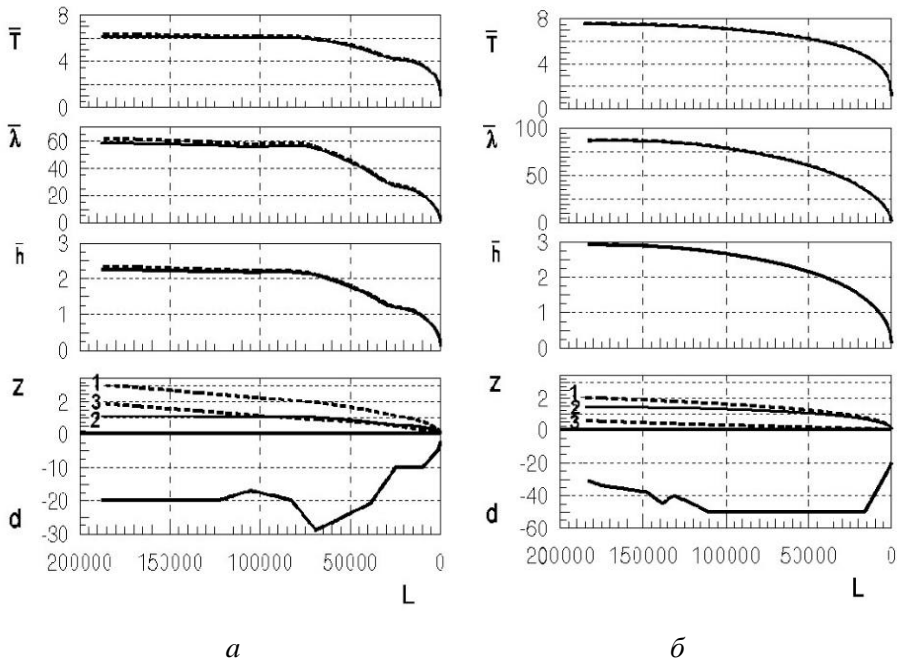


Рис. 1 – Середні значення параметрів вітрових хвиль і відхилення вільної поверхні моря з урахуванням і без урахування вітрового нагону за північно-східним (а) та східним (б) напрямками вітру

Результати розрахунків, представлені на рис. 1, показують, що зі збільшенням вітрового розгону, що перевищує граничні значення, параметри хвиль виходять на стабільні незмінні значення. Ці значення залежать від батиметрії дна моря, швидкості і напрямку вітру, згідно із залежностями (1) і (2). Так, на рис. 1а постійні значення параметрів хвиль досягаються для розгонів $L > 75\ 000$ м, а на рис. 1б ці значення досягаються для $L > 150\ 000$ м. Результати досліджень показують, що збільшення відхилення вільної поверхні моря від незбуреного рівня істотно залежить від вітрового нагону. Так, на рис. 1 відхилення вільної поверхні моря значно перевищують рівні моря в незбуреному стані. При цьому зі збільшенням розгону вітру різниця стає більше. На рис. 1б відхилення вільної поверхні моря менше, ніж на рис. 1а. Це обумовлено тим, що в розрахунках параметрів хвиль для північно-східного і східного напрямків швидкості вітру були різні (більше для напрямлення ПнС, ніж для С, див., таблиця 2), а згідно з рівнянням (4) швидкість вітру знаходиться в квадратичній залежності.

Таблиця 2 – Параметри вітрових хвиль в кінці вітрового розгону

Румб		$V_w, \text{ м/с}$	$d, \text{ м}$	$S, \text{ м}$	$\eta, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$\lambda, \text{ м}$	$T, \text{ с}$
ПнС	без нагону	24	20	0	1,125	2,25	58,4	6,21
	з нагоном	24	20	1,89	3,055	2,33	61,4	6,34
С	без нагону	21	28	0	1,49	2,98	89,81	7,5
	з нагоном	21	28	0,75	2,245	2,89	89,9	7,51

Результати розрахунків показують, що з урахуванням нагону параметри вітрового хвилювання в кінці вітрового розгону збільшуються більш ніж на 10% з підходом до ізобат $d = 20$ м досліджуваної ділянки рукава Бистре гирла річки Дунай. При цьому відносне збільшення параметрів хвилювання спостерігається вище за східним напрямком вітру, ніж за північно-східним напрямком (див., таблиця 2).

Висновки

1. Розроблена та викладена напівемпірична методика розрахунку параметрів вітрових хвиль за змінними глибинами моря уздовж розгону, яка дозволяє визначити середні значення висот вітрових хвиль, їх довжину і період в залежності від швидкості вітру з урахуванням і без урахування вітрового нагону.

2. В рамках викладеної методики проведені розрахунки параметрів вітрових хвиль, що підходять до ізобат $d = 20$ м, досліджуваної ділянки рукава Бистре (Новостамбульське) гирла річки Дунай, за превалюючих швидкостей вітру та напрямків розгонів вітру північний схід і схід. Проведено розрахунки параметрів хвиль і відхилення вільної поверхні моря з урахуванням вітрового нагону.

3. Виявлено, що зі збільшенням вітрового розгону, що перевищує граничні значення, параметри хвиль виходять на незмінні значення. Ці значення залежать від батиметрії дна моря, швидкості і напрямку вітру.

3. Показано, що врахування вітрового нагону призводить до збільшення параметрів хвиль. Встановлено, що відносне збільшення параметрів хвилювання спостерігається вище за східним напрямком вітру, ніж за північно-східним напрямком вітру. Виявлено, що відхилення вільної поверхні моря значно перевищують рівні моря в незбуреному стані і збільшення відхилення вільної поверхні моря від незбуреного рівня істотно залежить від вітрового нагону.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. WAVEWATCH III R version 6.07. User manual and system documentation. – College Park, MD, USA, 2019. – 465 p.
2. Ferrari F. Optimized wind and wave energy resource assessment and offshore exploitability in the Mediterranean Sea / F. Ferrari, G. Besio, F. Cassola, A. Mazzino // Energy. – 2020. – Vol. 190, No1. – P. 116447-1-15. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116447>
3. Sun Z. A Comparison of WAVEWATCH III grid models for a typical reef lagoon / Z. Sun, X. Liu, Z. Cai, J.-G. Li [et al.] // Proc. 29-th Intern. Ocean and Polar Engineering Conf. – Honolulu, Hawaii, USA, 2019. – P. 1-7.
4. SWAN Cycle III version 41.20. User Manual. – Delft University of Technology, Netherlands, 2018. – 121 p.
5. Amarouchea K. Evaluation of a high-resolution wave hindcast model SWAN for the West Mediterranean basin / K. Amarouchea, A. Akpinar, N.E.I. Bacharic, R.E. Cakmakb [et al.] // Applied Ocean Res. – 2019. – Vol. 84. – P. 225-241. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.01.014>
6. Lianga B. Characteristics of global waves based on the third-generation wave model SWAN / B. Lianga, H. Gaoa, Z. Shaoa // Marine Structures. – 2019. – Vol. 64. – P. 35-53. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2018.10.011>

7. Dingemans M. Water wave propagation over uneven bottoms. / M. Dingemans – NY: World Scientific, 1997. – 471 p.
8. Holthuijsen L.H. Waves in oceanic and coastal water. / L.H. Holthuijsen – Cambridge Press, 2007. – 312 p.
9. Яковлев В.В. Двумерные модели плановой трансформации волн в жидкости переменной глубины / В.В. Яковлев // Прикладная гидромеханика. – 2000. – Т. 2 (74), №4. – С. 119-125.
10. Бондарь В.В. Совместное воздействие волн и течений на круглоцилиндрические преграды больших поперечных размеров / В.В. Бондарь, В.А. Ткаченко, В.В. Яковлев // Прикладная гидромеханика. – 2014. – Т. 16 (88), №3. – С. 14-22.
11. Бондарь В.В. Совместное воздействие волн и течений на осесимметрические преграды больших поперечных размеров / В.В. Бондарь, В.А. Ткаченко, В.В. Яковлев // Прикладная гидромеханика. – 2015. – Т. 17 (90), №2. – С. 3-8.
12. Muliati Y. Wind wave modeling in natura sea: A comparison among SWAN, SEAFINE and ERA-INTERIM / Y. Muliati, R.L. Tawekal, A. Wurjanto, J. Kelvin [et al.] // Intern. J. Geomate. – 2019. – Vol. 16, Issue 54. – P. 176-184. <https://doi.org/10.21660/2019.54.93272>
13. Yin C. The Characteristics of storm wave behavior and its effect on cage culture using the ADCIRC+SWAN model in Houshui Bay, China / C. Yin, H. Huang, D. Wang, Y. Liu [et al.] // Oceanic and Coastal Sea Res. – 2020. – Vol. 19, No 2. – P. 307-319. <https://doi.org/10.1007/s11802-020-3941-3>
14. Bjorkqvist J.-V. WAM, SWAN and WAVEWATCH III in the Finnish archipelago – the effect of spectral performance on bulk wave parameters / J.-V. Bjorkqvist, O. Vaha-Piikkio, V. Alari, A. Kuznetsova [et al.] // J. Operational Oceanography. – 2020. – Vol. 13, No 1. – P. 1633236-1-16. <https://doi.org/10.1080/1755876X.2019.1633236>
15. Крылов Ю.М. Ветровые волны и их воздействие на сооружения. / Ю.М. Крылов, С.С. Стрекалов, В.Ф. Цыплухов – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 259 с.
16. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – М.: Госстрой СССР, 1983. – 38 с.
17. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов). – Л.: ВНИИГ, 1977. – 316 с.
18. Ле Меоте Б. Введение в гидродинамику и теорию волн на воде. / Б. Ле Меоте – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 368 с.
19. Miche M. Le pouvoir réfléchissant des ouvrages maritimes exposés a l'action de la houle. / M. Miche // Ann. Ponts Chaussées. – 1944. – 121. – P. 285-318.
20. Селезов И.Т. Трансформация волн в прибрежной зоне шельфа. / И.Т. Селезов, В.Н. Сидорчук, В.В. Яковлев. – Киев: Наукова думка, 1983. – 208 с.
21. Divinskii B. Maximum waves in the Black Sea / B. Divinskii, V. Fomin, R. Kosyan, D. Lazorenko // Proc. 14th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation MEDCOAST 2019 (Marmaris, Turkey, 22-26 Oct 2019). – Mugla, Turkey: MEDCOAST Foundation, 2019. – Vol. 2. – P. 799-810.
22. Divinsky B.V. Extreme wind waves in the Black Sea / B.V. Divinsky, V.V. Fomin, R.D. Kosyan, Y.D. Ratner // Oceanologia. – 2019. – Vol. 62, No1. – P. 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2019.06.003>
23. Хомицкий В.В. Удосконалення захисної огорожувальної дамби Морського підхідного каналу Дунай-Чорне море / В.В. Хомицкий, Б.М. Островерх, В.О. Ткаченко, В.А. Воскобийник, Л.М. Терещенко // Екологічна безпека та природокористування. – 2020. – Т. 35, № 3. – С. 57-77. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.3.57-77>

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

REFERENCES

1. WAVEWATCH III R version 6.07. User manual and system documentation. (2019). College Park, MD, USA.
2. Ferrari, F., Besio, G., Cassola, F., & Mazzino, A. (2020). Optimized wind and wave energy resource assessment and offshore exploitability in the Mediterranean Sea. *Energy*, 190 (1), 116447-1-15. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116447>
3. Sun, Z., Liu, X., Cai, Z., Li, J. et al. (2019). A Comparison of WAVEWATCH III grid models for a typical reef lagoon. In *29-th Intern. Ocean and Polar Engineering Conf.* (pp. 1-7). Honolulu, Hawaii, USA.
4. SWAN Cycle III version 41.20. User Manual. (2018). Netherlands: Delft University of Technology.
5. Amarouchea, K., Akpinarb, A., Bacharic, N.E.I., Cakmakb, R.E. et al. (2019). Evaluation of a high-resolution wave hindcast model SWAN for the West Mediterranean basin. *Applied Ocean Res.*, 84, 225-241. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.01.014>
6. Lianga, B., Gaoa, H., & Shaoa, Z. (2019). Characteristics of global waves based on the third-generation wave model SWAN. *Marine Structures*, 64, 35-53. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2018.10.011>
7. Dingemans, M. (1997). *Water wave propagation over uneven bottoms*. NY: World Scientific.
8. Holthuijsen, L.H. (2007). *Waves in oceanic and coastal water*. Cambridge Press.
9. Yakovlev, V.V. (2000). Dvumernye modeli planovoj transformacii voln v zidkosti peremennoj glubiny [Two-dimensional models of the planned transformation of waves in a fluid of variable depth]. *Prikladnaja gidromekhanika*, 2(74) (4), 119-125. (in Russian)
10. Bondar, V.V., Tkachenko, V.A., & Yakovlev, V.V. (2014). Sovmestnoe vozdeystvie voln i techenij na kruglocilindricheskie pregrady bolshikh poperechnykh razmerov [Joint action of waves and currents on circular cylindrical obstacles of large transverse dimensions]. *Prikladnaja gidromekhanika*, 16(88) (3), 14-22. (in Russian)
11. Bondar, V.V., Tkachenko, V.A., & Yakovlev, V.V. (2015). Sovmestnoe vozdeystvie voln i techenij na osesimmetrichnye pregrady bolshikh poperechnykh razmerov [Joint action of waves and currents on axisymmetric obstacles of large transverse dimensions]. *Prikladnaja gidromekhanika*, 17(90) (2), 3-8. (in Russian)
12. Muliati, Y., Tawekal, R.L., Wurjanto, A., Kelvin, J. et al. (2019). Wind wave modeling in natura sea: A comparison among SWAN, SEAFINE and ERA-INTERIM. *Intern. J. Geomate*, 16 (54), 176-184. <https://doi.org/10.21660/2019.54.93272>
13. Yin, C., Huang, H., Wang, D., Liu, Y. et al. (2020). The Characteristics of storm wave behavior and its effect on cage culture using the ADCIRC+SWAN model in Houshui Bay, China. *Oceanic and Coastal Sea Res.*, 19 (2), 307-319. <https://doi.org/10.1007/s11802-020-3941-3>
14. Bjorkqvist, J.-V., Vaha-Piikkio, O., Alari, V., Kuznetsova, A. et al. (2020). WAM, SWAN and WAVEWATCH III in the Finnish archipelago – the effect of spectral performance on bulk wave parameters. *J. Operational Oceanography*, 13 (1), 1633236-1-16. <https://doi.org/10.1080/1755876X.2019.1633236>
15. Krylov, Yu.M., Stekalov, S.S., & Cyplykhov, V.F. (1976). *Vetrovye volny i ikh vozdeystvie na sooruzenija* [Wind waves and their impact on structures]. L.: Gidrometeoizdat. (in Russian)
16. SNiP 2.06.04-82*. (1983). Nagruzki i vozdeystvija na gidrotekhnicheskie sooruzenija (volnovye, ledovye i ot sydov). Moskow: Gosstroj SSSR. (in Russian)
17. Rukovodstvo po opredeleniju nagryzok i vozdeystvij na gidrotekhnicheskie sooruzenija (volnovykh, ledovykh i ot sydov). (1977). L.: VNIIG. (in Russian)
18. Le Meete, B. (1974). *Vvedenie v gidrodinamiku i teoriju voln na vode* [Introduction to hydrodynamics and water wave theory]. L.: Gidrometeoizdat. (in Russian)
19. Miche, M. (1944). *Le pouvoir réfléchissant des ouvrages maritimes exposés a l'action de la houle*. Ann. Ponts Chaussées, 121, 285-318.

20. Selezov, I.T., Sidorchyk, V.N., & Yakovlev, V.V. (1983). *Transformacija voln v pribreznoj zone shelfa [Wave transformation in the coastal shelf zone]*. Kiev: Naukova dumka. (in Russian)
21. Divinskii, B., Fomin, V., Kosyan, R., & Lazorenko, D. (2019). Maximum waves in the Black Sea. In *Proc. 14th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation MEDCOAST* (Marmaris, Turkey, 22-26 Oct 2019). (vol. 2, pp. 799-810). Mugla, Turkey: MEDCOAST Foundation.
22. Divinsky, B.V., Fomin, V.V., Kosyan, R.D., & Ratner, Y.D. (2019). Extreme wind waves in the Black Sea. *Oceanologia*, 62 (1), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2019.06.003>
23. Khomicky, V.V., Ostroverkh, B.M., Tkachenko, V.O., Voskoboinick, V.A., & Tereshchenko, L.M. (2020). Improvement of protection dam of the Marine approach channel Danube-Black Sea. *Environmental safety and natural resources*, 35 (3), 57-77. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.3.57-77>

The article was received 17.04.2020 and was accepted after revision 24.07.2020

Яковлев Віталій Васильович

доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу Гідродинаміки хвильових та руслових течій Інституту гідромеханіки НАН України
Адреса робоча: 03057, Україна, Київ, вул. Марії Капніст, 8/4
e-mail: vvyak@ukr.net

Воскобійник Володимир Анатолійович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу Гідродинаміки хвильових та руслових течій 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

Хоміцький Віталій Володимирович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу Гідродинаміки хвильових та руслових течій 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

Ткаченко Віктор Олексійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу Гідродинаміки хвильових та руслових течій Інституту гідромеханіки НАН України
Адреса робоча: 03057, Україна, Київ, вул. Марії Капніст, 8/4
e-mail: tkachenkob@gmail.com

Воскобойник Олександр Анатолійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу Технічної гідромеханіки Інституту гідромеханіки НАН України
Адреса робоча: 03057, Україна, Київ, вул. Марії Капніст, 8/4
ORCID ID: 0000-0001-8114-4433 **e-mail:** alexandr.vsk@gmail.com

Терещенко Лідія Миколаївна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу Гідродинаміки хвильових та руслових течій 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

Воскобійник Андрій Володимирович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу Гідробіоніки та керування примезовим шаром Інституту гідромеханіки НАН України

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

ORCID ID: 0000-0001-8045-8625 *e-mail:* andrew.vsk@gmail.com

Бондар Вікторія Віталіївна

провідний інженер відділу Гідродинаміки хвильових та руслових течій Інституту гідромеханіки НАН України

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

© 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.

Copyright © 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 22.12.2020. Формат 70x108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 7.9
Обл.-вид. арк. 9.6
Замовлення № ____

Тираж 300 примірників

КИЇВ 2020