

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 39

2021

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

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

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ENVIRONMENTAL SAFETY AND
NATURAL RESOURCES**

Збірник наукових праць

Випуск 3 (39), липень-вересень 2021 р.

Заснований у 2008 р.
Виходить 4 рази на рік

Academic journal

Issue 3 (39), July-September 2021

Founded in 2008
The journal is published 4 volume a year

КИЇВ 2021

KYIV 2021

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

Члени редколегії:

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

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

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

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

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

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
(протокол № 13 від 09.09.2021 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

Волошкіна О.С., Шаблій Т.П., Трофімович В.В., Єфіменко В.М., Гончаренко А.В., Жукова О.Г.

Вплив глобальних кліматичних змін на забруднення повітря урбанізованих територій та розповсюдження захворюваності населення на COVID-19..... 5

Stefanyshyn D.V., Khodnevich Ya.V., Korbutiak V.M.

Estimating the Chézy roughness coefficient as a characteristic of hydraulic resistance to flow in river channels: a general overview, existing challenges, and ways of their overcoming..... 16

Adamenko O.M., Kotarba M., Radlovska K.O., Mosiuk M.I., Omelchenko V.G., Bebenek S., Khomyn V.R., Matyszkiewicz J.

Starunya: from geological monument to nature UNESCO geopark..... 44

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Міхєєнко В.М., Гевлич І.Г., Гевлич Т.І.

Регулювання поведінки з харчовими відходами в Україні та за кордоном..... 51

Волошкіна О.С., Жукова О.Г., Кордуба І.Б., Маршалл Д.І.

Методичні підходи до оцінки забруднення поверхневих водних об'єктів в зоні дії гірничо-видобувних підприємств (на прикладі Донецько-Придніпровського регіону)..... 69

Самченко Д.М., Потапенко Л.І., Кочетов Г.М., Ковальчук О.Ю., Васильєв А., Нечипор О.М.

Дослідження вилуговування важких металів із продуктів феритизаційної переробки гальванічних шламів..... 76

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

Нестеренко О.В.

Метод експертної оцінки спроможностей сил цивільного захисту..... 88

Петроченко О.В., Петроченко В.І.

Методологія інтегрованого управління земельними і водними ресурсами 102

ДО ВІДОМА АВТОРІВ..... 121

CONTENTS

ENVIRONMENTAL SAFETY

- Voloshkina O., Shabliy T., Trofimovich V., Efimenko V., Goncharenko A., Zhukova O.**
Influence of global climate change on air pollution in urbanized areas and spread of COVID-19 morbidity..... 5
- Stefanyshyn D.V., Khodnevich Ya.V., Korbutiak V.M.**
Estimating the Chézy roughness coefficient as a characteristic of hydraulic resistance to flow in river channels: a general overview, existing challenges, and ways of their overcoming..... 16
- Adamenko O.M., Kotarba M., Radlovska K.O., Mosiuk M.I., Omelchenko V.G., Bebenek S., Khomyn V.R., Matyszkiewicz J.**
Starunya: from geological monument to nature UNESCO geopark..... 44

NATURAL RESOURCES

- Mikheenko V., Hevlych I., Hevlych T.**
Regulation of food waste management in Ukraine and abroad..... 51
- Voloshkina O., Zhukova O., Korduba I., Marshall D.**
Methodical approaches to the evaluation of surface pollution of water objects in the area of mining enterprises (on the example of Donetsk-Pridniprovsk region)..... 69
- Samchenko D., Potapenko L., Kochetov G., Kovalchuk O., Vasiliev A., Nechipor O.**
Research of heavy metals leaching from sediments after feritization processing of galvanic sludge..... 76

INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

- Nesterenko O.**
Expert assessment method of capabilities civil defense forces..... 88
- Petrochenko O., Petrochenko V.**
Methodology of integrated land and water resources management..... 102
- INFORMATION FOR AUTHORS..... 121**

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК 504.067

Olena Voloshkina¹, Dr, Professor of Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID 0000-0002-3671-4449 *e-mail*: e.voloshki@gmail.com

Tetyana Shablii², PhD, Associate Professor of Department
ORCID ID 0000-0003-3114-3728 *e-mail*: t_shablii@hotmail.com

Volodymyr Trofimovich¹, PhD, Professor of Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID 0000-0001-5449-4120 *e-mail*: v.trofimovich@gmail.com

Volodymyr Efimenko³, PhD, Director Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv
ORCID ID 0000-0003-4167-4952 *e-mail*: efim@knu.ua

Artem Goncharenko¹, graduate student
ORCID ID 0000-0001-5647-1360 *e-mail*: hosting.pat@gmail.com

Olena Zhukova¹, PhD, Associate Professor of the of Labour and Environment Protection
ORCID ID 0000-0003-0662-9996 *e-mail*: elenazykova21@gmail.com

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

² Odesa National Medical University, Odesa, Ukraine

³ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

INFLUENCE OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON AIR POLLUTION IN URBANIZED AREAS AND SPREAD OF COVID-19 MORBIDITY

***Abstract.** The purpose of this paper is to confirm for the conditions of Ukraine the hypothesis of a number of foreign authors on the relationship between the presence of air pollution by aerosol particles in urban areas and the number of patients with COVID-19. On the example of the main large cities of Ukraine the analysis between temperature factors, dust pollution of the atmospheric phenomena and processes of distribution of morbidity of the population on COVID-19 is made. The linear dependences in the logical coordinates between nature are obtained due to the confirmation of the cases of morbidity and the index of aerosol pollution of the atmospheric air of urban areas by solid private particles PM_{2.5} (AQIPM_{2.5}). The correlation coefficients of the obtained dependences are in the range of 0.65–0.91. These data suggest the possibility of unification of data for the country for different climatic zones to assess and predict the incidence of population depending on air pollution in urban areas and climatic conditions, and may be promising in the future to find ways to reduce the impact of aerosols in the air on the human body and the purpose of finer cleaning in production processes and air exchange technologies in*

modern buildings and structures. According to the authors, there is a need for further research on the impact of humidity and the impact of the percentage distribution of natural and anthropogenic aerosols in the air of urban areas. Such studies will further make more accurate predictions about the impact of air pollution on human health in the context of global climate change.

Key words: *global climate change; air pollution; COVID-19; urban areas; morbidity*

О.С. Волошкіна¹, Т.П. Шаблій², В.В. Трофімович¹, В.М. Єфіменко³,
А.В. Гончаренко¹, О.Г. Жукова¹

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

² Одеський національний медичний університет, м. Одеса, Україна

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

ВПЛИВ ГЛОБАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАХВОРЮВАНОСТІ НАСЕЛЕННЯ НА COVID-19

Анотація. *Метою роботи є підтвердження для умов України гіпотези низки закордонних авторів щодо взаємозв'язку між наявністю забруднення атмосферного повітря аерозольними частками на урбанізованих територіях та кількістю захворілих на COVID-19. На прикладі основних великих міст України зроблено аналіз взаємозв'язку між температурними факторами, пиловим забрудненням атмосфери та процесами розповсюдження захворюваності населення на COVID-19. Отримані лінійні залежності в логарифмічних координатах між приростом кількості підтверджених випадків захворюваності та індексом аерозольного забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій твердими частками PM_{2,5} (AQIPM_{2,5}). Коефіцієнти кореляції отриманих залежностей знаходяться в межах 0,65–0,91. Ці дані свідчать про можливість уніфікації даних для території країни для різних природно-кліматичних зон щодо оцінювання та прогнозування захворюваності населення в залежності від забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій та кліматичних умов, а також можуть бути перспективними в подальшому для пошуку шляхів зменшення впливу аерозолів в повітрі на організм людини та призначення більш тонкої очистки у виробничих процесах та технологіях повітрообміну у сучасних будівлях та спорудах.*

Ключові слова: *глобальні зміни клімату; забруднення повітря; COVID-19; урбанізовані території; захворюваність*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.5-15>

Вступ

Останнім часом в роботах вітчизняних та закордонних авторів досить ретельно розглянуто взаємозв'язок між забрудненням атмосферного повітря та глобальними кліматичними змінами [1, 2, 3 та ін.]. Окрім точних математичних моделей [4–6], в більшості цих робіт встановлено залежності між забрудненням компонентами CO, NO_x, CO₂, СНОН (як первинні, так і вторинні забруднення внаслідок фотохімічних перетворень в атмосферному повітрі) та кліматичними умовами міського середовища. Представлені в цих роботах багаторічні статистичні тренди побудовані на основі даних моніторингових багаторічних спостережень. Так, на прикладі ряду міст України було встановлено, що дані залежності можуть бути апроксимовані за допомогою

тригонометричної функції або поліноміальних рядів (в розрізі багаторічної динаміки) [7].

Забруднення атмосферного повітря міського середовища є однією з причин розповсюдження хвороб серед населення.

На основі даних теоретичних досліджень в роботі [8] представлено розрахунок екологічного ризику для здоров'я населення (як канцерогенні, так і неканцерогенні значення) від забруднення атмосферного повітря молекулами формальдегіду внаслідок фотохімічних перетворень в повітрі при сталих умовах атмосфери, підвищених температурних умовах, сонячній прямій та розсіяній радіації в літні місяці року.

Але що стосується забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій аерозольними частками на фоні глобальних кліматичних змін, то ці дослідження на сьогоднішній день потребують додаткового вивчення з огляду на наявність залежності між забрудненням аерозольними частками від 0,1 до 0,01 мкм атмосферного повітря великих міст, кліматичними умовами місцевості (температура, вологість) та процесами розповсюдження захворюваності на COVID-19. Тверді частки діаметром менш як 2,5 мкм в атмосфері міста є значним предиктором кількості підтверджених випадків COVID-19.

Постановка проблеми

Як відмічається в роботах закордонних авторів, очікувана кількість випадків захворюваності на COVID-19 зростає на 100% при збільшенні індексу забруднення атмосфери AQIPM_{2,5} на 20%. Так, в роботі [9] представлена оцінка потенційного зв'язку між забрудненням атмосферного повітря твердими частками (PM) та поширенням інфекції COVID-19 в Італії. У роботах [1, 10, 11], що також присвячені питанням дифузії вірусів серед людей, доведено на прикладі аналізу моніторингових даних, що підвищена частота зараження пов'язана з повітряними твердими частинками (PM). В даних роботах відмічено, що фракції PM_{2,5} та PM₁₀ можуть слугувати носієм для кількох хімічних та біологічних забруднювачів, включаючи віруси. Віруси можуть адсорбуватися шляхом коагуляції на твердих частинках, що складаються з твердих та/або рідких частинок та чий час життя в атмосфері становить години, дні або тижні. Інактивація вірусу залежить від певних параметрів навколишнього середовища: якщо, з одного боку, і висока температура, і сонячне випромінювання здатні прискорити швидкість інактивації, з іншого боку, висока відносна вологість може сприяти швидкості дифузії. В наведених наукових дослідженнях висвітлено взаємозв'язок між дифузією вірусів серед опроміненої популяції та твердими частинками. На думку авторів, розповсюдження COVID-19 залежить також від вологості повітря, як на відкритому просторі, так і в приміщеннях. Залежності між вологістю повітря та концентрацією забруднюючих речовин в повітрі на прикладі окремих забруднювачів представлені в роботі [12].

Гіпотезу, яку викладено в наведених роботах, було перевірено авторами для умов України на прикладі основних обласних міст. Беручи до уваги технології вимірювання забруднення атмосфери існуючими моніторинговими системами, зроблено припущення про вміст в атмосферному повітрі надзвичайно дрібних фракцій (менше ніж 0,1 мкм). Частки більше ніж 0,1 мкм ефективно затримуються природними органами захисту при диханні.

Дані моніторингових досліджень на прикладі окремих місяців 2020–2021 рр. було взято з даних системи міжнародних мереж автоматичних сонячних фотометрів AERONET та онлайн-системи ЛУН в містах України. При побудові залежностей між індексом якості повітря AQIPM_{2,5} та захворюваністю на COVID-19, кількість інфікованих оцінювалася з урахуванням 14-денного інкубаційного періоду [13].

Алгоритм досліджень може бути представлений наступним чином:

1) на підставі аналізу концентрації твердих часток в повітрі за даними моніторингових спостережень знаходимо кореляційну логарифмічну залежність між твердими частками в повітрі та приростом захворюваності населення міста на COVID-19 для конкретних метеорологічних умов (вологість та температура повітря) в різних природно-кліматичних зонах;

2) на підставі отриманих залежностей робимо припущення про вміст в атмосферному повітрі надзвичайно дрібних фракцій (менше ніж 0,1 мкм) у моніторингових даних для PM_{2,5}. Ця гіпотеза має значну вагу, тому що, як відомо, частки більше ніж 0,1 мкм ефективно затримуються природними органами захисту при диханні.

В подальших дослідженнях постає необхідність у визначенні залежностей між потраплянням аерозолів даних розмірів в організм людини внаслідок забрудненого повітря та визначенням шляхів впливу глобальних флуктуацій глобальних кліматичних змін на потрапляння в організм людини хвороботворних бактерій.

Основна частина

Як зазначалося вище, в даному дослідженні робилося припущення, що виміри зважених часток PM_{2,5} в повітрі містять також і аерозолі більш тонких фракцій, тому вважаємо за коректне скористатися вимірами даної фракції для побудови статистичних трендів між вимірними концентраціями, температурними умовами міста та вологістю повітря.

Для м. Києва залежності між концентраціями PM_{2,5} та температурними умовами в березні 2020 р. по окремих постах спостережень представлено на рис. 1 та 2.

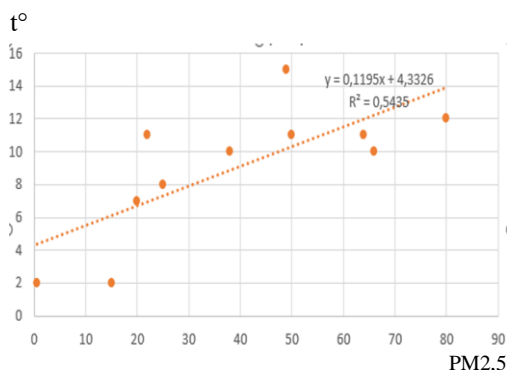


Рис. 1 – Залежність між концентраціями часток в атмосферному повітрі м. Києва за даними березня 2020 р. на вул. Попудренка

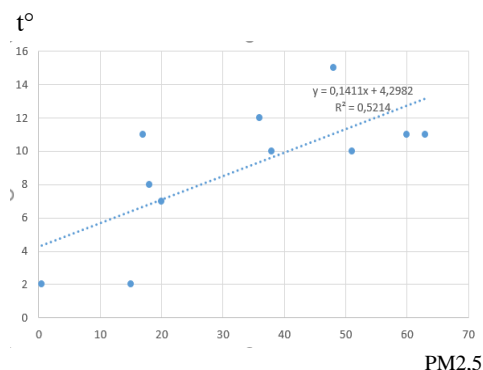


Рис. 2 – Залежність між концентраціями часток в атмосферному повітрі м. Києва за середньозваженими даними березня 2020 р. на вул. Тростянецька, Проспект Науки, Голосіївська, Артема

Представлені графіки на прикладі різних районів м. Києва підтверджують наявність взаємозв'язку між температурними показниками та аерозольним забрудненням фракціями PM_{2,5} атмосферного повітря. Проведені авторами дослідження показали, що подібні залежності найбільш точно описуються у поліноміальному вигляді. Аналогічні залежності з подібними коефіцієнтами кореляції були також отримані авторами і для інших місяців 2020–2021 років, а також графіки кореляції між вологістю повітря, температурними умовами та концентрацією забруднюючих речовин в повітрі на прикладі окремих компонентів.

Аналіз даних моніторингових спостережень з різних систем показав ймовірнісний характер розподілу аерозольних часток в повітрі, тому, згідно з дослідженнями професора О.І. Пирумова, інтегральні криві дисперсності аерозольних часток у ймовірно-логірифімічній системі координат мають вигляд прямої лінії.

На рис. 3 показано залежність між індексом атмосферного повітря у м. Києві AQIPM_{2,5} та даними приросту захворюваності на COVID-19: в поліноміальних координатах і логарифмічних координатах відповідно.

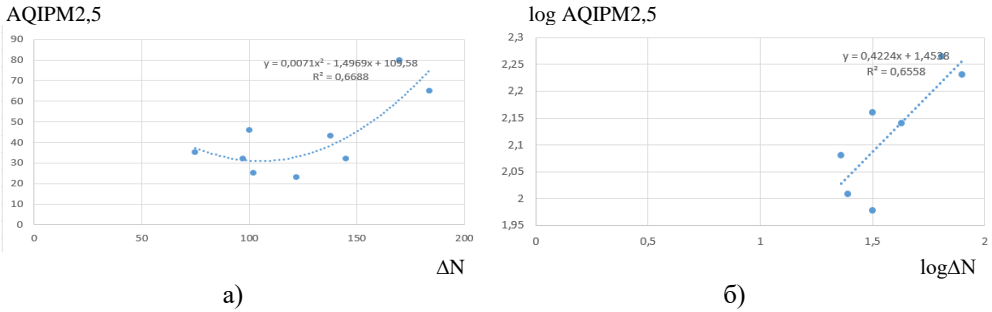


Рис. 3 – Залежність між індексом атмосферного повітря в м. Києві AQIPM_{2,5} та даними приросту захворюваності на COVID-19: а) в поліноміальних координатах; б) в логарифмічних координатах

Аналогічні залежності на рис. 4 представлені для травня – червня 2021 року по м. Одеса.

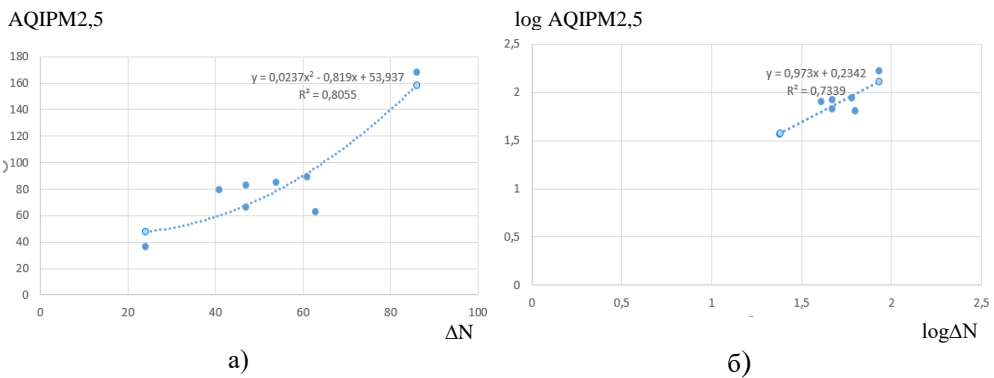


Рис. 4 – Залежність між індексом атмосферного повітря м. Одеса AQIPM_{2,5} та даними приросту захворюваності на COVID-19: а) в поліноміальних координатах; б) в логарифмічних координатах

На рис. 5–9 представлені аналогічні залежності для інших обласних міст.

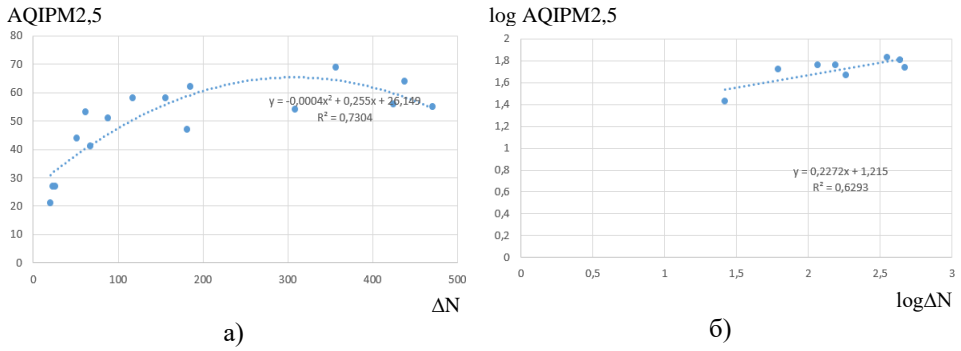


Рис. 5 – Залежність між індексом атмосферного повітря м. Рівне AQIPM2,5 та даними приросту захворюваності на COVID-19: а) в поліноміальних координатах; б) в логарифмічних координатах

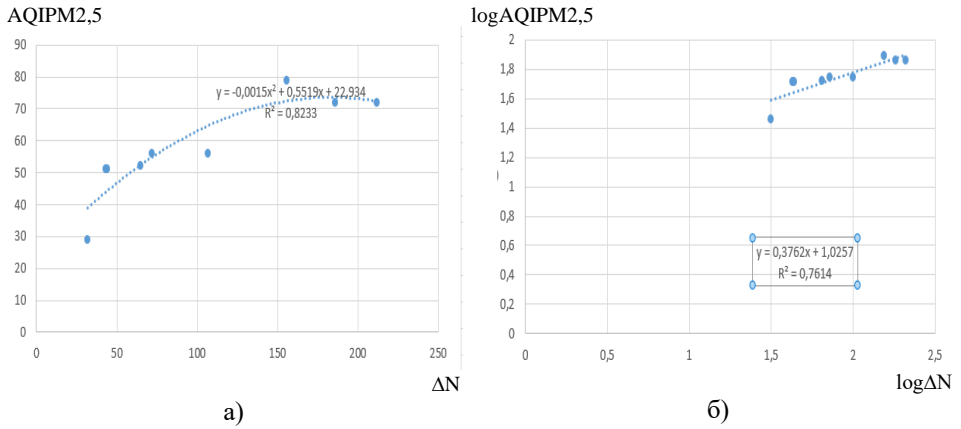


Рис. 6 – Залежність між індексом атмосферного повітря м. Миколаїв AQIPM2,5 та даними приросту захворюваності на COVID-19: а) в поліноміальних координатах; б) в логарифмічних координатах

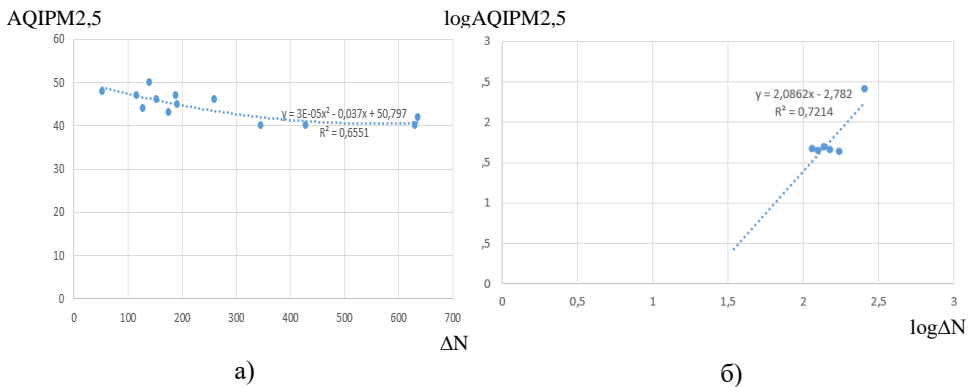


Рис. 7 – Залежність між індексом атмосферного повітря м. Харків AQIPM2,5 та даними приросту захворюваності на COVID-19: а) в поліноміальних координатах; б) в логарифмічних координатах

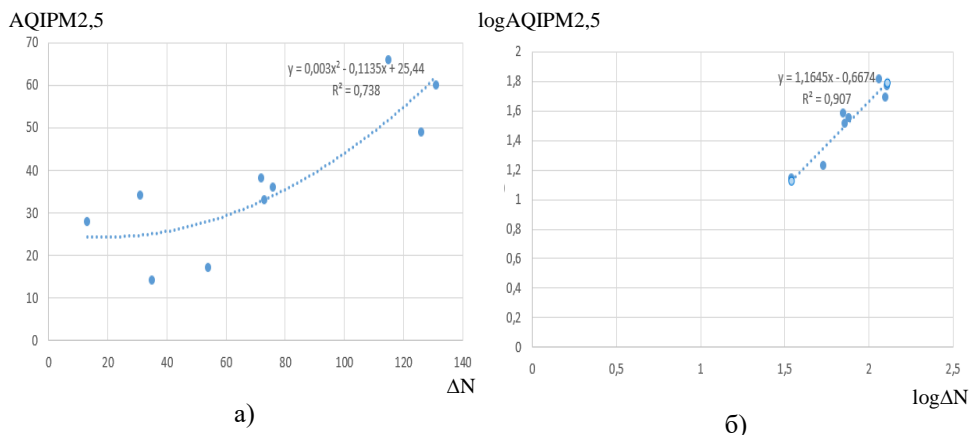


Рис. 8 – Залежність між індексом атмосферного повітря м. Івано-Франківськ AQIPM2,5 та даними приросту захворюваності на COVID-19: а) в поліноміальних координатах; б) в логарифмічних координатах

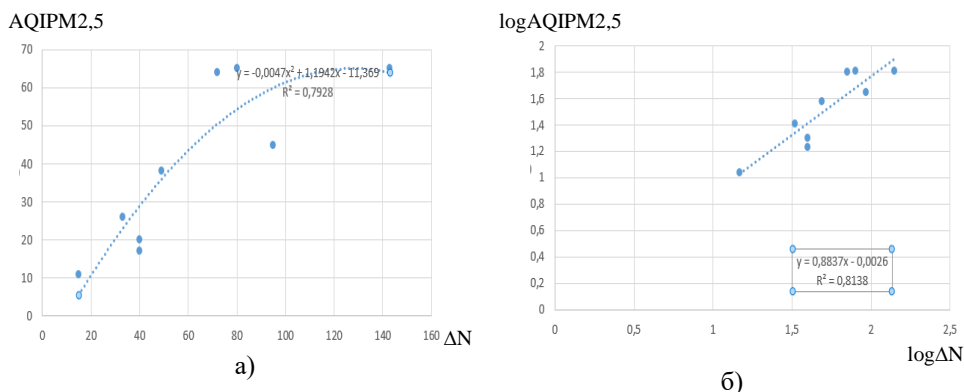


Рис. 9 – Залежність між індексом атмосферного повітря м. Кропивницький AQIPM2,5 та даними приросту захворюваності на COVID-19: а) в поліноміальних координатах; б) в логарифмічних координатах

Коефіцієнти кореляції отриманих залежностей знаходяться в межах 0,65–0,9.

В таблиці 1 представлено рівняння лінійної регресії $\log(\Delta N = \log(\text{AQIPM2,5}))$ та коефіцієнти кореляції для логарифмічних залежностей між індексами якості повітря AQIPM2,5 та приростом захворюваності населення на COVID-19 для міст, що розташовані в різних природно-кліматичних зонах.

Таблиця 1 – Коефіцієнти кореляції отриманих залежностей

| № п/п | Місто | Рівняння лінійної регресії $\log(\Delta N = \log(\text{AQIPM2,5}))$ | Коефіцієнт кореляції |
|-------|------------------|---|----------------------|
| 1 | Київ | $y = 0,422x + 1,4538$ | 0,6558 |
| 2 | Одеса | $y = 0,973x + 0,2342$ | 0,7339 |
| 3 | Рівне | $y = -0,0004x^2 + 0,255x + 26,149$ | 0,7304 |
| 4 | Миколаїв | $y = 0,3762x + 1,0257$ | 0,7614 |
| 5 | Харків | $y = 2,0862x - 2,782$ | 0,7214 |
| 6 | Івано-Франківськ | $y = 1,1645x - 0,6674$ | 0,907 |
| 7 | Кропивницький | $y = 0,8837x - 0,0026$ | 0,8138 |

Дані таблиці свідчать про можливість уніфікації даних для території країни для різних природно-кліматичних зон з метою оцінювання та прогнозування захворюваності населення в залежності від забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій та кліматичних умов місцевості.

Результати та дискусії

Дані результатів досліджень можуть бути використані при оцінці та прогнозуванні поширення інфекційних захворювань населення, яке підсилюється кліматичними умовами та забрудненістю тонкими частками аерозолів, оскільки віруси адсорбуються саме на ці частки.

Передбачається, що результати досліджень знайдуть широке практичне застосування в технологіях будівельної інженерії в питаннях поліпшення мікроклімату внутрішніх приміщень.

Слід також зазначити, що автори у своїх дослідженнях використовували період моніторингових спостережень за квітень – травень 2021 року (до початку масової вакцинації в Україні), що, на нашу думку, визначає «чистоту» моніторингових даних.

На думку авторів, існує потреба в подальших дослідженнях щодо впливу вологості повітря та впливу відсоткового розподілу природних та антропогенних аерозолів в атмосферному повітрі урбанізованих територій. Такі дослідження дозволять в подальшому робити більш точні прогнози щодо впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення в межах глобальних кліматичних змін.

Висновки

Проведені дослідження дають підставу зробити наступні висновки:

1. Для умов України підтверджено гіпотезу, висунуту в роботах низки закордонних авторів, щодо взаємозв'язку між наявністю забруднення атмосферного повітря аерозольними частками на урбанізованих територіях та кількістю захворівших на COVID-19.

2. На прикладі міського середовища низки великих міст України отримані кореляційні залежності, що мають лінійний характер та безпосередньо залежать від температурних умов навколишнього середовища.

3. Дані дослідження можуть бути перспективними в подальшому для пошуку шляхів зменшення впливу аерозолів в повітрі на організм людини, а також проведення (та призначення) більш тонкої очистки у виробничих процесах та технологіях повітрообміну у сучасних будівлях та спорудах.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Публікація підготовлена в рамках проекту «Багаторівнева місцева, національна та загальнодержавна освіта та навчання в галузі кліматичних

послуг, адаптації та пом'якшення наслідків зміни клімату 619285-EPP-1-2020-1-FI-EPPKA2-SVHE-JP». Підтримка Європейською комісією випуску цієї публікації не означає схвалення змісту, який відображає лише думки авторів, і Комісія не може нести відповідальність за будь-яке використання інформації, що міститься в ній.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Edoardo Conticini, Bruno Frediani, Dario Caro (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? *Environmental Pollution*, Volume 261, June 2020, 114465. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114465>
2. Studies linking air pollution to the severity of COVID-19. – Access mode: <https://olick-gp.livejournal.com/73217.html>
3. Cienciewicki J. et al., 2007. Air Pollution and Respiratory Viral Infection. *Inhalation Toxicology* 19:14, 1135-1146. doi: <https://doi.org/10.1080/08958370701665434>
4. Sipakov R. Impact of Weather Factors on the Speed of the Reaction of Formaldehyde Formation Above Motorway Overpasses / Sipakov R., Trofimovich V., Voloshkina O., Berezniatskaya Y. // *Environmental Problems*, Volume 3, number 2, Lviv Politechnic National University, 2018 – P. 97–102.
5. Чугай А.В., Гусева К.Д., Кукуй Д.В. Забрудненість атмосферного повітря м. Одеса. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2012. № 1–2. С. 20–26.
6. Шевченко О.Г., Кульбіда М.І., Сніжко С.І., Щербуха Л.С., Данілова Н.О. (2014). Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом. *Український гідрометеорологічний журнал*, Одеський державний екологічний університет, № 14, С. 2–22.
7. Трофімович В.В., Волошкіна О.С., Фандікова М.М., Клімова І.В., Журавська Н.С. (2012). Моніторинг атмосферного повітря. Проблеми моделювання і прогнозування. Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. пр. КНУБА, ІТГП НАНУ – Вип. 10. – С. 102–120.
8. Сіпаков Р.В. Оцінка ризику для здоров'я населення від викидів автомобільного транспорту у м. Києві. / Волошкіна О.С., Березницька Ю.О., Клімова І.В. // *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. Науково-технічний журнал, ІФНТУНГ МОНУ. – Івано-Франківськ – 2018. – Вип. 1(17). – С. 14–20. doi: <https://doi.org/10.32557/ext-10-2018-1>
9. Leonardo Setti et al., 2020. Evaluation of the potential relationship between Particulate Matter (PM) pollution and COVID-19 infection spread in Italy, http://www.simaonlus.it/wpsima/wp-content/uploads/2020/03/COVID_19_position-paper_ENG.pdf
10. Sedlmaier N. et al. (2009). Generation of avian influenza virus (AIV) contaminated fecal fine particulate matter (PM_{2.5}): Genome and infectivity detection and calculation of immission. *Veterinary Microbiology* 139:1-2. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.05.005>
11. Despres V.R. et al. (2012). Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 64:1, 15598. doi: <https://doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.15598>
12. Klimova I., Sipakov R. (2019) Influence of meteorological factors on the secondary contamination of atmospheric air by formaldehyde (on example of city of Kyiv). // *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, Kosice, (Slovakia)*. – Volume 7, No. 2/2019, pp. 75–86. doi: <https://doi.org/10.32557/issn.2640-9631/2019-1>
13. Coronavirus situation monitoring system. – Access mode: <https://covid19.rnbo.gov.ua/>

Стаття надійшла до редакції 13.05.2021 і прийнята до друку після рецензування 10.08.2021

REFERENCES

1. Conticini, E., Frediani, B., & Caro, D. (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? *Environmental Pollution*, 261, June 2020, 114465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114465>.
2. Studies linking air pollution to the severity of COVID-19. Retrieved from: <https://olik-gp.livejournal.com/73217.html>.
3. Cienciewicki, J. et al. (2007). Air Pollution and Respiratory Viral Infection. *Inhalation Toxicology*, 19:14, 1135-1146. DOI: <https://doi.org/10.1080/08958370701665434>
4. Sipakov, R., Trofimovich, V., Voloshkina, O., & Bereznitskaya, Y. (2018). Impact of Weather Factors on the Speed of the Reaction of Formaldehyde Formation Above Motorway Overpasses. *Environmental Problems*, 3(2), 97-102.
5. Chugai, A.V., Guseva, K.D., & Kukui, D.V. (2012). Atmospheric air pollution in Odessa. *Man and the environment. Problems of neocology*, 1-2, 20-26 [in Ukrainian].
6. Shevchenko, O.G., Kulbida, M.I., Snizhko, S.I., Shcherbukha, L.S., & Danilova, N.O. (2014). The level of air pollution in the city of Kiev with formaldehyde. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 14, 2-22 [in Ukrainian].
7. Trofimovich, V.V., Voloshkina, O.S., Fandikova, M.M., Klimova, I.V., & Zhuravskaya, N.E. (2012). Atmospheric air monitoring. Problems of modeling and forecasting. *Ecological safety and nature resources*, 10, 102-120 [in Ukrainian].
8. Sipakov, R.V., Voloshkina, O.S., Bereznitska, Y.O., & Klimova, I.V. (2018). Risk assessment for public health from emissions from road transport in Kyiv. *Environmental security and balanced resource use. Scientific and Technical Journal*, 1(17), 14-20 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32557/ext-10-2018-1>
9. Setti, L. et al. (2020). Evaluation of the potential relationship between Particulate Matter (PM) pollution and COVID-19 infection spread in Italy. Retrieved from: http://www.simaonlus.it/wpsima/wp-content/uploads/2020/03/COVID_19_position-paper_ENG.pdf
10. Sedlmaier, N. et al. (2009). Generation of avian influenza virus (AIV) contaminated fecal fine particulate matter (PM_{2.5}): Genome and infectivity detection and calculation of immission. *Veterinary Microbiology*, 139(1-2). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.05.005>
11. Despres, V.R. et al. (2012). Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 64(1), 15598. DOI: <https://doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.15598>
12. Klimova, I., & Sipakov, R. (2019). Influence of meteorological factors on the secondary contamination of atmospheric air by formaldehyde (on example of city of Kyiv). *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, Kosice, (Slovakia)*, 7(2/2019), 75-86. DOI: <https://doi.org/10.32557/issn.2640-9631/2019-1>
13. Coronavirus situation monitoring system. Retrieved from: <https://covid19.rnbo.gov.ua/>

The article was received 13.05.2021 and was accepted after revision 10.08.2021

Волошкіна Олена Семенівна

доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури
Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31
ORCID ID 0000-0002-3671-4449 **e-mail:** e.voloshki@gmail.com

Шаблій Тетяна Петрівна

кандидат медичних наук, доцент Одеського національного медичного університету
Адреса робоча: 65082, Україна, м. Одеса, провулок Валіховський, 2
ORCID ID 0000-0003-3114-3728 **e-mail:** t_shabliy@hotmail.com

Трофімович Володимир Володимирович

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

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

ORCID ID 0000-0001-5449-4120 **e-mail:** v.trofimovich@gmail.com

Єфіменко Володимир Михайлович

кандидат фізико-математичних наук, директор Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Адреса робоча: 04053, Україна, м. Київ, вул. Обсерваторна, 3

ORCID ID 0000-0003-4167-4952 **e-mail:** efim@knu.ua

Гончаренко Артем Вадимович

аспірант спеціальності 101 «Екологія», кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

ORCID ID 0000-0001-5647-1360 **e-mail:** hosting.pat@gmail.com

Жукова Олена Григорівна

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

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

ORCID ID 0000-0003-0662-9996 **e-mail:** elenazykova21@gmail.com

UDC 532

Dmytro V. Stefanyshyn¹, D. S. (Engineering), Senior Research Scientist
ORCID ID: 0000-0002-7620-1613 **e-mail:** d.v.stefanyshyn@gmail.com

Yaroslav V. Khodnevich¹, PhD (Engineering), Research Scientist
ORCID ID: 0000-0002-5510-1154 **e-mail:** ya.v.khodnevych@gmail.com

Vasyl M. Korbutiak², PhD (Engineering), Associated Prof. of Department
ORCID ID: 0000-0002-8273-2306 **e-mail:** v.m.korbutiak@nuwm.edu.ua

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

² National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

ESTIMATING THE CHÉZY ROUGHNESS COEFFICIENT AS A CHARACTERISTIC OF HYDRAULIC RESISTANCE TO FLOW IN RIVER CHANNELS: A GENERAL OVERVIEW, EXISTING CHALLENGES, AND WAYS OF THEIR OVERCOMING

Abstract. *This paper deals with results of a systemized overview of the Chézy roughness coefficient calculation problem as one most frequently used empirical characteristics of hydraulic resistance. The overview is given in the context of the formation of reliable empirical data needed to support hydro-engineering calculations and mathematical modelling of open flows in river channels. The problem topicality is because of a large number of practical tasks which need such a pre-research. In many cases, the accuracy of determining empirical hydraulic resistance characteristics can largely affect the accuracy of solving tasks relating to designing hydraulic structures and water management regardless of chosen mathematical models and methods.*

Rivers are characterized by a significant variety of flow conditions; hydraulic resistance to flows in rivers can thus vary widely determining their flow capacity. Considering the variety of river hydro-morphology and hydrology, the Chézy roughness coefficient often appears to be the most complete characteristic of hydraulic resistance to open flows in river channels comparing with other integral empirical characteristics of hydraulic resistance.

At present, there are a large number of empirical and semi-empirical formulas to calculate the Chézy roughness coefficient. The main aim of this study was to analyze and systematize them in the context of providing proper support to the open channel hydraulics tasks. To achieve the aim of the study, a literature review regarding the problem of determining the integral hydraulic resistance characteristics to open flow in river channels was performed, as well as formulas used to calculate the Chézy roughness coefficient in practice were explored and systemized. In total, 43 formulas to calculate the Chézy roughness coefficient, as well as 13 formulas that can be used to estimate the Manning roughness coefficient were analyzed and systematized. Based on all these formulas, about 250 empirical equations can be compiled to calculate the Chézy coefficient depending on hydro-morphological peculiarities of rivers and river channels, hydraulic conditions, formulas application limits, and so on.

Keywords: *empirical characteristics; hydraulic resistance; open flows; open channel hydraulics; river channels; Chézy roughness coefficient*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.16-43>

1. Introduction

Rivers, riverine valleys, and riparian territories have traditionally been considered by humans as an important resource environment, despite essential threats connected with natural river waters [1]. Rivers are still the main source of drinking, industrial and agrarian water supply in the world, serve as reliable transport routes [2], and provide hydropower development [3]. They are extremely attractive places for urbanization and mass settlement of people. It is thus utterly irrational not to use the river environment in economics and vital activities. Moreover, rivers are among the crucial natural ecosystems, both local ones and of the world [4], and also are important for the recreation and tourism industry [5, 6]. Currently, more than one billion people in the world live in areas adjacent to rivers [7].

There are a lot of hydro-engineering tasks relating to open flow in river channels. Foremost, these are traditional hydraulic calculations of the river channels' capacity and the position of the free water surface, which are essential ones for designing hydraulic structures [8–10]. There are also the special tasks of mathematical modelling to determine the parameters of flood wave propagation and water releases from reservoirs including dam-break flood waves [11–14], as well as prediction of general and local riverbed erosion [4, 15–18], alluvium transport and sedimentation [19–23], hydraulic modelling for designing highways [20], and other infrastructure within the river environment [17, 22, 23]. It should also be mentioned tasks for providing integrated approaches to water resources management in river basins [24] including flood control measures [25, 26], riverine ecosystem management, and river revitalization work [4, 27], and so on.

The investigation and modelling of open flows in river channels is a complex problem. When solving it, independently on the research topic and methods used, a number of simplifications and assumptions are usually accepted. There are also a number of parametric uncertainties requiring an empirical pre-research to overcome them. First of all, they relate to establishing hydraulic resistances, which can vary significantly in time and space depending on many factors [8–10].

Hydraulic resistance is the force with which the bed, banks of a river including its floodplain interferes with the movement of water flow. The key factors affecting hydraulic resistance in river channels are the following: elements of roughness including bottom ridges and riffles, turns and bends of the channel, heterogeneity of size and shape of the channel along the length, suspended and bottom sediments, vegetation, ice and others. Due to the variety of water flow conditions in river channels, their hydraulic resistance can vary widely determining their flow capacity, water flow velocities and discharges, water levels and flooding.

When expressing the hydraulic resistance, the following integral empirical characteristics are usually used: the Chézy roughness coefficient C ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$), the Manning (Gauckler – Manning) roughness coefficient n ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$), and the Darcy – Weisbach friction factor λ . There are three well-known empirical equations linking mean flow velocity V to the hydraulic resistance expressed by these characteristics. They are the Chézy, Manning (Gauckler – Manning or Gauckler – Manning – Strickler), Darcy – Weisbach equations, accordingly [8–10]:

$$V = C \sqrt{R \cdot S_f} , \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_f}, \quad (2)$$

$$V = \sqrt{\frac{8g \cdot R \cdot S_f}{\lambda}}, \quad (3)$$

where $V = Q/A$ is the depth-averaged or cross-sectional averaged velocity (m/s), Q is the water discharge (m³/s), $A = B \cdot h$ is the cross-sectional area of the flow (m²), B is the average flow width (m), h is the average flow depth (m), $R = A/P$ is the hydraulic radius (m), P is the wetted perimeter (m), S_f is the energy grade line slope (or the water surface slope); g is the gravitational acceleration (m/s²).

Usually, the Chézy roughness coefficient C and the Manning roughness coefficient n are used in calculating the averaged velocity of open flows; the Darcy – Weisbach friction factor λ is used for calculating the averaged velocity water movement in pipelines [8–10]. However, the Darcy – Weisbach formulation of flow resistance may be used for open channels as well [21, 34].

Let the Chézy, Manning, and Darcy – Weisbach equations (1)–(3) be summarized as [23, 28–33]:

$$V = C \sqrt{R \cdot S_f} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_f} = \sqrt{\frac{8g \cdot R \cdot S_f}{\lambda}}. \quad (4)$$

Then the following simple formal relationships between the roughness coefficients C , n , and the friction factor λ are established: the Chézy coefficient C may relate to the Darcy – Weisbach friction factor λ as [9, 10]:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \text{ or } \lambda = \frac{8g}{C^2}, \quad (5)$$

the Darcy – Weisbach friction factor λ may relate to the Gauckler – Manning roughness coefficient n as [34, 35]:

$$\lambda = \frac{8g \cdot n^2}{R^{1/3}} \text{ or } n = \sqrt{\frac{\lambda \cdot R^{1/3}}{8g}}, \quad (6)$$

and, in turn, the Chézy roughness coefficient C may relate to the Manning (Gauckler – Manning) roughness coefficient n as:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \text{ or } n = \frac{C}{R^{1/6}}. \quad (7)$$

The equations (1)–(3) are considered to be valid for the quadratic region of resistances for the case of steady uniform flow in channels occurring when the depth h , flow area A , and velocity V at every cross section are constant, and the energy

grade line slope (or the water surface slope, hydraulic slope) S_f is equal to the channel bed slope S_0 , that is $S_f = S_0$. In general, uniform flow can occur only in very long, straight, and prismatic channels. Although the definition of uniform flow and the assumptions required to consider equations (1)–(3) are rarely satisfied in practice, the concept of uniform flow is central to the understanding and solution to many practical tasks of open-channel hydraulics [8–10].

Today, empirical characteristics of hydraulic resistance are used in numerous practical hydraulic and fluid mechanics tasks. In particular, they are used in the widespread one and two-dimensional flow models of shallow water (De Saint Venant equations in the French scientific community), which are successfully applied in mathematical modelling of flows with free surface [12, 21–23, 35, 36] including dam-break simulations [13, 14, 37, 38], torrential flows (or so-called flash floods) modelling [39, 40], sediment-laden flows modelling [21], debris flows simulation [33] and pollutant transport modelling [41], as well as the pyroclastic and granular masses movement modelling [42], and the simulation of large-scale atmospheric, sea and ocean currents [43] etc. They are used in the modern computational HEC-RAS River Analysis System supporting steady and unsteady flow water surface profile calculations, sediment transport computations, and water quality analyses etc. [44]. They are not used only in the Navier – Stokes equations of the real fluid motion and in Reynolds averaged equations of turbulent water flow, which describe the behaviour of an unsteady three-dimensional flow. However, results obtained from traditional hydraulic calculations and flow modelling due to shallow water models may be used as boundary conditions for computations with Reynolds and Navier – Stokes equations [17, 18, 27, 43–45].

2. Problem statement, aim and objectives of the research

Because of the huge variety of conditions of water flow in open channels of natural rivers, the characteristics of hydraulic resistance to flow can vary in space and time significantly. They can vary depending on natural riverbed conditions and seasonal hydraulic and hydro-morphological conditions and so on, as well as under the influence of stochastic or even unpredictable factors including human activity. For example, in some parts of a river, the essential local elevations of water levels may occur due to compressions of the river channel downstream due to temporary formations, such as ice gorges, rubbish of logging, alluvial deposits etc. [46]. Often, depending on changes in the hydraulic resistance to flow, the same water levels in a river may correspond to different water discharges and vice versa. This complicates the solution of the majority of practical hydro-engineering tasks. In many cases, the accuracy of determining empirical hydraulic resistance characteristics can largely affect the accuracy of solving hydro-engineering problems relating to mathematical modelling of open flow in river channels regardless of chosen mathematical models or methods.

Admittedly, the most general approach to determining the numerical values of hydraulic resistance characteristics, which we cannot directly gauge, is to determine them in the frame of a chosen mathematical flow model by solving an inverse hydraulic problem [47] taking into account gauged characteristics of flow (the water discharge, flow velocity, flow width and depth, wetted perimeter, water surface slope, river bed morphology etc.) in control flow cross sections. Such inverse tasks

are also called parameter identification problems of mathematical models [48]. The numerical values of the hydraulic resistance characteristics determined in the frame of solution of inverse hydraulic problems can be further successfully used in solving various practical hydro-engineering tasks concerning the traditional and special hydraulic calculations.

However, the approach based on the solution of inverse problems has got not only important advantages promoting mathematical modelling but also a number of serious practical disadvantages. First of all, this approach may be applied only to rivers monitored by gauges or to well-gauging parts of rivers, which have a sufficient number of hydrological gauges to control actual flow characteristics (levels and discharges of water flow). As well as, there remains a need for large-scale field investigations of the river hydro-morphology taking into account spatial-temporal hydro-morphological changes occurring in the riverbed and floodplain for seasons, in particular, due to recent floods etc. In addition, the hydraulic resistance characteristics that have been identified in the frame of solving an inverse hydraulic problem may be adequately used only for the pre-chosen mathematical model, which was subject to parametric identification including its boundary and initial conditions. However, as practice shows [46], when resolving next predictive tasks, the boundary and initial conditions can vary significantly and unpredictably in time. They must be repeatedly adjusted using results of additional field research. Current remote sensing data make the task easier. However, this data is implicit. They also need to be identified [49, 50]. Eventually, for ungauged rivers, where hydrometric observations are not performed, the empirical approach using equations (1)–(3) still remains the only possible one.

For example, in the simplest case, when the average flow width $B \gg h$ and thus $R \cong h$, to identify the Gauckler – Manning roughness coefficient n according to results of hydrological and hydro-morphological observations for a selected area of a river the empirical Manning equation (model) (2) may be used. In this case, to solve the inverse problem of parametric identification it is needed that within this area we know the water discharge Q or depth-averaged or cross-sectional averaged velocity V , average flow depth h and average flow width B , as well as marks of the river channel bottom levels z_b or water surface levels z_w .

Let $S_f = \Delta z / L$, $\Delta z = z_u - z_d$ be, where z_u , z_d are marks of a river bottom or water levels in cross-sections of upstream and downstream of a selected area of the river channel of length L along the flow. Then, according to Manning equation (2), the roughness coefficient n may be estimated (identified) as:

$$n = \frac{h^{2/3} \cdot \sqrt{\frac{z_u - z_d}{L}}}{V}. \quad (8)$$

The relative simplicity of determining the roughness coefficient n by solving the inverse problem for open-channel flows based on the use of the Manning equation (2) allowed developing summarized tables of its values depending on open channel types, qualitative description of channel morphology, and conditions of flow [8–10]. These tables have been widely used in practice. However, for different watercourses and cases described in these tables, the roughness coefficient values vary

substantially including significant variations in some range (minimum, normal, maximum values) for each special case [8–10]. Therefore, the ultimate choice of a design value of the roughness coefficient value in each specific case depends essentially on a decision-making expert.

In turn, to identify the Gauckler – Manning roughness coefficient n using Darcy – Weisbach equation (3) and get the same result (8) we should consider not only the appropriate equation (3) but also the condition (6) linking formally the Darcy – Weisbach friction factor λ and the roughness coefficient n . The key issue here is that in a formal way the friction factor λ may be determined much more accurately as a function of relative roughness and Reynolds number characterizing flow regime [51]; whereas, the roughness coefficient values obtained from (8) do not depend on Reynolds number and flow regime. Further, to identify the roughness coefficient n using Chézy equation (1) and get the same result (8) we should consider not only the appropriate equation (1) but also the condition (7) linking the Chézy coefficient C and the Gauckler – Manning coefficient n . Herewith, the Chézy coefficient C may relate simultaneously to the Darcy – Weisbach friction factor λ as (5). However, because equations (1)–(3) are empirical ones, actually, they cannot give the same results. Eventually, in a more general case, a more appropriate formula for identifying the roughness coefficient based on the Chézy equation (1) can be written as:

$$n = \frac{h^{0,5+y} \cdot \sqrt{\frac{z_u - z_d}{L}}}{V}, \quad (9)$$

where y is some degree indicator modelling the empirical relationship between the Chézy roughness coefficient C and the Manning roughness coefficient n .

The formula (9) seems to be more complete to identify the Gauckler – Manning roughness coefficient n than the formula (8) as it contains the indicator y , which can vary. This may also indicate that the Chézy equation (1) is a more universal and convenient empiric model to monitor the hydraulic resistance to open flow than Gauckler – Manning (2) and Darcy – Weisbach (3) equations. This is especially true of natural watercourses like rivers, which are characterized by a significant variety of flow conditions, and where it is quite problematic, for example, to determine the Darcy – Weisbach friction factor λ .

Today, there are a large number of empirical and semi-empirical formulas used to calculate the Chézy roughness coefficient C . The main aim of this study is to systematize these formulas in the context of providing a proper support for mathematical modelling of open flows in natural channels. To achieve the aim of the study, the following objectives were set: (1) to perform a literature review regarding the problem of estimating the integral hydraulic resistance characteristics to open flow in river channels; (2) to explore and systemize principal empirical and semi-empirical formulas, which may be used to estimate the Chézy roughness coefficient as an integral characteristic of hydraulic resistance to open flow in river channels; (3) to detect existing challenges to computing the Chézy roughness coefficient, and propose ways of their overcoming.

3. Materials and methods

As materials for the research we used well-known classical literature on open channel hydraulics [8–10], reference books, tutorials, and manuals [22, 44, 52–57], articles presenting the results of original research on calculating hydraulic resistance in open channels [28–34, 58–60], and, in particular, articles devoted to determining the Darcy – Weisbach friction factor [51, 61–64], the Gauckler – Manning roughness coefficient [52, 65–69], and the Chézy resistance coefficient [28, 70–73], as well as recent publications on mathematical modelling of uniform and non-uniform water flow in open channels [22, 23, 25, 27, 35–39, 41, 43, 45].

As methods, when researching, there were used: historical method, method of dialectical cognition and generally scientific methods of theoretical and empirical research, heuristic methods, methods of analysis and synthesis, methods of expert evaluation and comparison, methods of formalization and modelling, systemic approach to the investigation of factors and mechanisms their development. As a result of the study, a general classification and systematization of main empirical and semi-empirical formulas and dependencies to compute the Chézy resistance coefficient was proposed taking into account the conditions and features of their application in practice.

4. Formulas used to calculate the Chézy resistance coefficient

At present, there is a large number (more than 100) of different empirical and semi-empirical formulas and dependencies by which the Chézy resistance coefficient can be calculated [8–10, 28, 29, 34, 52–59, 61, 70–73]. Many of them, for example, may be derived from the dependences linking the Chézy resistance coefficient with the roughness coefficient and the Darcy – Weisbach friction factor. The latter ones, in turn, can be also determined due to various empirical formulas [58, 59, 62, 64, 71]. Most of the examined formulas have limited application meeting specific flow conditions, or were derived from poor laboratory or natural material. However, among the wide variety of formulas to compute the Chézy resistance coefficient the most well-known and original dependencies and equations most used in practice have been revealed.

In general, all the existing empirical formulas and dependencies used to calculate the Chézy coefficient can be divided into four main groups.

The first group consists of formulas in which mostly there is established the dependence of the Chézy coefficient C on the roughness coefficient n characterizing the roughness of the banks and the bottom of a river channel. They also include, the hydraulic radius R or the average flow depth h provided that the average flow width $B \gg h$ and $R \cong h$:

$$C = f(n, R), \text{ or } C = f(n, h). \quad (10)$$

The second group consists of formulas in which the value of hydraulic resistance is determined by the height of protrusions of the roughness Δ of a channel or average diameter d of soil particles making up the bottom and banks of a river channel, or the height h_r and length l_r of the river bottom ridges:

$$C = f(d, \Delta, h_r, l_r). \quad (11)$$

The third group consists of formulas taking into account the effect of the water surface slope S_f , as well as the average flow depth h or hydraulic radius R :

$$C = f(S_f, h), \text{ or } C = f(S_f, R). \quad (12)$$

The fourth group consists of formulas taking into account the influence of the relative width B/h (or B/R) of flow:

$$C = f(B/h), \text{ or } C = f(B/R). \quad (13)$$

In addition, a separate implicit formulas group can also be singled out. To determine the coefficient C using them, a trial-and-error procedure (iterative calculation) has to be used.

4.1. Formulas to calculate the Chézy coefficient C taking into account the roughness coefficient n

Among empirical formulas and relationships of the type of (10) the most frequently cited the Manning, Guanguillet-Kutter, Bazin, Forchheimer, Pavlovskii formulas are [8–10, 29, 34, 52-59, 61, 70–73]. Below, Table 1 shows some of them.

Table 1 – Formulas to compute the Chézy roughness coefficient C taking into account the roughness coefficient n and hydraulic radius R or average flow depth h

| Formula author (s), year, references | Equation to calculate the Chézy roughness coefficient C | Recommended usage limits |
|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Guanguillet, and Kutter (the G. K. formula), 1869, [8-10, 71, 73] | $C = \frac{23 + 0.00155/S_f + 1/n}{1 + (23 + 0.00155/S_f) \cdot n/\sqrt{R}}, \quad (14)$ where S_f is the water surface slope (hydraulic slope). | $0.1 \leq R \leq 5.0 \text{ m},$ $S_f > 0.0005,$ $0.011 \leq n \leq 0.04$ |
| The simplified G. K. formula, 1869, [71] | $C = \frac{23 + 1/n}{1 + 23n/\sqrt{R}}. \quad (15)$ | $S_f \leq 0.0005$ |
| The G. K. formula approximation by the exponential function, 1890, [8-10, 71] | $C = \frac{1}{n} R^y, \quad (16)$ where y is the degree indicator modelling the relationship between the Chézy coefficient C and the roughness coefficient n . | $0.1 \leq R \leq 5.0 \text{ m},$ $0.011 \leq n \leq 0.04$ |
| Manning, 1890, [8-10, 71] | $C = \frac{1}{n} R^{1/6}. \quad (17)$ | $0.1 \leq R \leq 5.0 \text{ m},$ $0.011 \leq n \leq 0.04$ |

| 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|-----|------------------------------------|------|------------------------------------|------|-----------------------------------|------|-------------------------------------|------|--------------------------------------|------|-----------------------------------|------|--|
| Bazin, 1897, [8-10, 71] | $C = \frac{87}{1 + m/\sqrt{R}}, \quad (18)$ <p>where m is a coefficient of roughness whose values are the following:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Description of channel</th> <th>m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Very smooth cement of planned wood</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td>Unplanned wood, concrete, or brick</td> <td>0.21</td> </tr> <tr> <td>Rubble masonry, or poor brickwork</td> <td>0.83</td> </tr> <tr> <td>Earth channels in perfect condition</td> <td>1.54</td> </tr> <tr> <td>Earth channels in ordinary condition</td> <td>2.36</td> </tr> <tr> <td>Earth channels in rough condition</td> <td>3.17</td> </tr> </tbody> </table> | Description of channel | m | Very smooth cement of planned wood | 0.11 | Unplanned wood, concrete, or brick | 0.21 | Rubble masonry, or poor brickwork | 0.83 | Earth channels in perfect condition | 1.54 | Earth channels in ordinary condition | 2.36 | Earth channels in rough condition | 3.17 | This formula was developed primarily from data collected from small channels; its application is deemed to be less satisfactory than, for example, the G.K. formulas (14), (15) [8]. |
| | Description of channel | m | | | | | | | | | | | | | | |
| Very smooth cement of planned wood | 0.11 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unplanned wood, concrete, or brick | 0.21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rubble masonry, or poor brickwork | 0.83 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Earth channels in perfect condition | 1.54 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Earth channels in ordinary condition | 2.36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Earth channels in rough condition | 3.17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Forchheimer, 1923, [71] | $C = \frac{1}{n} R^{1/5}. \quad (19)$ | $0.1 \leq R \leq 5.0$ m, $0.011 \leq n \leq 0.04$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Pavlovskii, 1925, [8-10, 55] | $C = \frac{1}{n} R^y, \quad (20)$ $y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1).$ | $0.1 \leq R \leq 3.0$ m, $0.011 \leq n \leq 0.04$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Bakhmetyev, Agroskin, 1949, [52, 71, 73] | $C = \frac{1}{n} + 4\sqrt{g} \lg R, \quad (21)$ | $0.1 \leq R \leq 5.0$ m, $0.011 \leq n \leq 0.04$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Altshul', 1952, [63] | $C = 25 \left(\frac{R}{(80n)^6 + 0.025/\sqrt{R \cdot S_f}} \right)^{1/6}, \quad (22)$ <p>where S_f is the water surface slope.</p> | $0.1 \leq R \leq 5.0$ m, $0.011 \leq n \leq 0.04$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Agroskin, and Shterenlicht, 1965, [52, 70] | $C = \frac{1}{n} + (27.5 - 300n) \lg R. \quad (23)$ | $0.1 \leq R \leq 5.0$ m, $0.011 \leq n \leq 0.04$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Shterenlicht, 1965, [53, 70] | $C = \frac{1}{n} + \frac{0.42 + 0.003R}{n} \lg R. \quad (24)$ | $2.0 \leq R \leq 5.0$ m (artificial canals), $3.0 \leq R \leq 20.0$ m (river channels); $0.02 \leq n \leq 0.2$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Talmaza, 1967, [70] | $C = \frac{1}{n} + (21 - 100n) \lg h. \quad (25)$ | $5.0 \leq R \leq 10.0$ m $0.01 \leq n \leq 0.2$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Zheleznyakov, 1968, [52, 70] | $C = \frac{1}{2} \xi + \sqrt{\frac{1}{4} \xi^2 + \frac{\sqrt{g}}{0.13} \left(\frac{1}{n} + \sqrt{g} \lg R \right)}, \quad (26)$ $\xi = \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0.13} (1 - \lg R) \right].$ | $4.0 \leq R \leq 16.0$ m $0.01 \leq n \leq 0.2$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Mamedov, 2011, [70] | $C = \frac{1}{n} + \frac{2.3\sqrt{g}}{4.1n + 0.32} \lg R. \quad (27)$ | $0.1 \leq R \leq 20.0$ m $0.01 \leq n \leq 0.06$ | | | | | | | | | | | | | | |

Calculation of the Chézy roughness coefficient C taking into account the roughness coefficient n and hydraulic radius R (or average flow depth h) stays still

the main approach to determine the hydraulic resistance of natural channels. Admittedly, however, formulas of the type of (10) including the formulas (14)–(27) are approximate; their accuracy is deemed not high [8–10, 70–73]. First of all, this is because of the variety of river channels, and the fact that each of these formulas best corresponds to the specific flow conditions for which it is derived. However, these formulas can give quite acceptable results. In particular, their accuracy can be significantly improved in the case of preliminary identification of the roughness coefficient n taking account different depths and flow velocities according to current field data [28, 29, 54, 60, 61, 65–70]. Although, it requires significant efforts and time losses and cannot always be applied in practice.

4.2. Computing the Gauckler – Manning roughness coefficient n

The Gauckler – Manning roughness coefficient n characterizes a measure of the factional resistance exerted by a channel on flow. Its value can also reflect other energy losses, such as those resulting from unsteady flow, extreme turbulence, and transport of suspended material and debris, that are often difficult or impossible to isolate and quantify [54, 65].

An estimated n value can be obtained in one of the following ways [54]:

1) computed (identified) from the n -value equation (2) from known water discharge, channel geometry, and water-surface profile; this n value reflects a stage-specific n value with or without increments of roughness attributable to vegetation, obstructions, and other flow-retarding factors;

2) selected from a published n -value table [8–10, 54, 65]; usually, this value reflects only the boundary friction from the bed and bank sediments and does not include additive effects from other flow-retarding factors, such as channel-shape variation, random obstructions, and a special vegetation;

3) estimated by comparison with photographs of channels for which n values have been pre-computed according to the way (1) [54]; or

4) calculated by means of empirical formulas the relations between flow resistance and hydraulic and particle-size characteristics of stream channels, that are similar to those of the sites having used in the development of these equations.

Below, Table 2 shows similar empirical equations. Some of these formulas may be of considerable practical interest, although they have limited applications because of referring to one-dimensional flow models. The most important factors affecting the n values are the type and size of the materials composing the bed and banks of river channels, vegetation factor, energy gradient and the channel shape.

Table 2 – Formulas to compute the Gauckler – Manning roughness coefficient n

| Formula author (s), year, references | Equation to calculate the Gauckler – Manning roughness coefficient n | Common application recommendations |
|--------------------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Henderson, 1966, [54] | $n = 0.034d_{50}^{1/6}, \quad (28)$ where d_{50} is the median size of the bed material (feet). | Streams with gravel beds. The equation is appropriate only for relatively high within-bank flows. |

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|---|
| <p>Limerinos, 1970, [54, 65]</p> | $n = \frac{0.0926R^{1/6}}{1.16 + 2.0\log(R/d_{84})}, \quad (29)$ <p>where R is the hydraulic radius (feet); d_{84} is the intermediate particle diameter (feet), that equals or exceeds that of 84 per cent of the particles; or</p> $n = \frac{0.8204R^{1/6}}{1.16 + 2.0\log(R/d_{84})},$ <p>where R, d_{84} are measured in meters.</p> | <p>Straight channels, relatively wide and of trapezoidal shape, relatively free of flow-retarding effects associated with irregular channel features and vegetation. The equation provides the reliable estimate of n-values for high within-bank flows in gravel-bed channels with small bed-material transport and insignificant vegetation. Parameter limits are: $0.02 < d_{50} < 0.83$ (feet); $S_f < 0.002$; $R < 11.0$ (feet).</p> |
| <p>Petruk, and Bosmajian, 1975, [65]</p> | $n = n_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{C_d \sum A_i}{2gA \cdot L} \right) \left(\frac{1}{n_0} \right)^2 R^{\frac{4}{3}} \right]^{0.5}, \quad (30)$ <p>where n_0 is a base n value [54], estimated excluding the effect of a vegetation; C_d is the effective-drag coefficient for the vegetation in the direction of flow; $\sum A_i$ is the total frontal area of vegetation blocking the flow in the reach, and A is the cross-sectional area of flow (m^2); L is the length of channel reach (m).</p> | <p>This formula can be recommended in the case of densely vegetated floodplains.</p> |
| <p>Froehlich, 1978, [54]</p> | $n = 0.245R^{0.14} (R/d_{50})^{-0.44} \cdot (R/B)^{0.30}, \quad (31)$ <p>where R is the hydraulic radius, and B is the top width of stream (feet), d_{50} is the intermediate particle diameter (feet), that equals or exceeds that of 50 per cent of the particles.</p> | <p>Channels with water surface slopes between 0.0003 and 0.018, and $R \leq 19$ feet. This equation is deemed the best to specific applications, such as estimating n values on narrow river channels with dense stream bank vegetation.</p> |
| <p>Bray, 1979, [54]</p> | $n = 0.104S_f^{0.177}, \quad (32)$ <p>where S_f is the slope of water surface (feet per foot).</p> | <p>Parameter limits are: $0.06 < d_{50} < 0.48$, feet (ft); $0.00022 < S_f < 0.015$; $47 < B < 1,790$ ft; $5 < h/d_{50} < 166$. The equation is inappropriate for channels, where the n value is expected to vary with the flow depth h, such as mountain streams and narrow channels with dense vegetation.</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------------|--|---|
| Abalyants, 1981, [57] | $n = 1.3n_0(R/B)^{1/12}, \quad (33)$ where n_0 is the roughness coefficient of flat flow, R is the hydraulic radius, and B is the width of stream (m). | This formula is useful when one considers the influence of the channel section shape. |
| Jarrett, 1984, [54, 61] | $n = 0.32S_f^{0.38}R^{-0.16}, \quad (34)$ where S_f is the energy gradient (feet per foot), and R is the hydraulic radius (feet). | Channels with energy gradients from 0.002 to 0.09 and hydraulic radii from 0.5 to 7 feet. The ratios of hydraulic radius to d_{50} (R/d_{50}) are admitted less than 5. |
| Kang, 1985, [33] | $n = 0.39h^{0.34}, \quad (35)$ where h is the flow depth (m). | This formula can be applicable to debris flows channels. |
| Sauer, 1990, [54] | $n = 0.11S_f^{0.18}R^{0.08}, \quad (36)$ where S_f is the slope of water surface (feet per foot), and R is the hydraulic radius (feet). | Application recommendations are similar to those for the Froehlich equation (31). |
| Fisher, 1992, [67] | $n = n_0 + 0.0239 \left(\frac{B_v}{V \cdot R} \right), \quad (37)$ where n_0 is a base n value [54] estimated excluding the effect of a vegetation; B_v is the volumetric blockage factor (m); V is the averaged velocity across flow depth (m/s); R is the hydraulic radius (m). | It is assumed that each sub-area is entirely filled with vegetation of uniform height. With this assumption, the volumetric blockage factor is accepted as equal to the ratio of vegetation height to flow depth. |
| Reed et al., 1995, [67] | $n = \beta / \sqrt{h}, \quad (38)$ where h is the flow depth (m), β is the vegetation resistance parameter (s·m ^{1/6}). | The β value is: low density vegetation, and $h > 0.3$ m, $\beta = 0.4$; moderately dense vegetation, and $h = 0.3$ m, $\beta = 1.6$; very dense vegetation, and $h < 0.3$ m, $\beta = 6.4$. |
| Fei, 2003, [33] | $\frac{1}{n} = 1.62 \left[\frac{s_v(1-s_v)}{\sqrt{h \cdot S_f \cdot D_{10}}} \right]^{\frac{2}{3}}, \quad (39)$ where s_v is the solid volume concentration of the debris flow; h is the flow depth (m); S_f is the hydraulic gradient (hydraulic slope); D_{10} is the characteristic grain size for which 10 per cent of the bed material is finer in diameter (m). | This formula can be applicable to debris flows channels. |

| 1 | 2 | 3 |
|------------------------|---|--|
| Zhu et al., 2020, [33] | $n = 0.083 \left(\frac{d_{84}}{R} \right)^{0.55} + 0.0075 \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{0.70} s_v^{1.45} S_f^{0.66}, \quad (40)$ <p>where, see also (39), R is the hydraulic radius (m); h is the flow depth (m); d_{84} and d_{50} are particle diameters (m).</p> | This formula can be applicable to debris flows channels. |

Values of the roughness coefficient n obtained by means of formulas (28)–(40) may be assigned to conditions that exist at the time of a specific flow event, to average conditions over a range in stage, or to anticipated conditions at the time of a future event. However, roughness values for floodplains can be essentially different from values for channels; therefore, roughness values for floodplains should be determined independently from channel values [65]. For that, there are appropriate analytical procedures that enable considering morphological heterogeneity of channel roughness, in particular, along the channel perimeter, as well as adjustment factors of n values for floodplains [8–10, 65].

4.3. Formulas to calculate the Chézy coefficient C taking into account the size of protrusions of the roughness and bottom ridges

Formulas considering the effect of the protrusions roughnesses on the Chézy coefficient are usually proposed for mountainous and foothills rivers. In turn, the influence of hydraulic resistance of bottom ridges is taken into account in the formulas being developed mainly for large canals and plain rivers, where there are conditions to exist of the bottom ridge phase of sediment movement.

In the practically non-erosion rivers channels, the roughness of the protrusions is usually estimated by the height of the protrusions Δ or the parameters h/Δ , $\varepsilon = \Delta/h$, where h is the average depth of flow.

In the case of the erosion channels characterizing by dynamic morphological changes in their structure, hydraulic resistances are determined by both the roughness of bottom sediment particles and structural channel formations such as riffles, ridges, dunes, etc. The last ones have certain sizes and different shapes and characterizing by certain mobility [52, 56, 57]. Therefore, in general, there can be revealed two types of the river channel bottom roughness. The first type concerns micro-roughness characterizing by the size of the bottom fractions of sediments. The second type includes macro-roughness forms characterizing by the size of the bottom ridge formations. Then, the Chézy coefficient for a certain channel section taking into account the micro- and macro-roughness can be written as [52, 53, 57]:

$$\frac{1}{C^2} = \frac{1}{C_\Delta^2} + \frac{1}{C_r^2}, \quad (41)$$

where C_{Δ} is the Chézy coefficient component accounting for the influence of hydraulic resistance due to the micro-roughness of the bottom fractions of sediments, and C_r is the Chézy coefficient component accounting for the influence of hydraulic resistance due to the macro-roughness of bottom ridge formations.

In more general cases, the formula (41) may be supplemented by other components to consider the effects of vegetation, ice cover, channel meandering, and other factors [52–54, 57, 65].

Below, Table 3 shows some empirical formulas to calculate the Chézy roughness coefficient C taking into account the size of protrusions of the roughness and parameters of bottom ridges according to (11). It should be noted, in deriving most of the formulas of the type of (11), the Darcy – Weisbach empirical equation (3) with the transformation (5) had been used.

Table 3 – Formulas to calculate the Chézy roughness coefficient C taking into account the size of protrusions of the roughness and parameters of bottom ridges

| Formula author (s), year, references | Equation to calculate the Chézy roughness coefficient C | Common application recommendations |
|--------------------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Strickler, 1923, [56, 57, 73] | $C_{\Delta} = 6.67\sqrt{g}(R/\Delta)^{1/6}$, (42) where R is the hydraulic radius (m), Δ is the height of protrusions (m). | $\Delta = d$, where d is the average diameter of the bottom sediments. |
| Colebrook, and White, 1937, [59] | $C_{\Delta} = 18\log(12R/\Delta)$. (43) | Rivers with rough turbulent flows. |
| Makkaveev, 1947, [74] | $C_{\Delta} = 3.015\sqrt{g}\left(\frac{h}{\Delta}\right)^{1/6}$, (44) where h is the average depth of flow and Δ is the height of protrusions (m). | $\Delta = d$, where d is the average diameter of the bottom sediments. |
| Williamson, 1951, [62] | $\lambda = 0.113(\Delta/R)^{1/3}$, (45) $C_{\Delta} = \sqrt{8g/\lambda}$, where λ is the Darcy – Weisbach friction factor. | $\Delta = d$, where d is the average diameter of the bottom sediments. |
| Goncharov, 1955, [52, 56, 57] | $C_{\Delta} = 4\sqrt{2g}1g\frac{6.15R}{\Delta}$, (46) where R is hydraulic radius (m), and Δ is the height of protrusions (m). | For bed sediments forming bed paving $\Delta = 0.5d_{50}$; for soils carried by the flow $\Delta = 0.7d_5$. |
| Zegzhda, 1957, [52, 56, 57] | $\frac{C_{\Delta}}{\sqrt{8g}} = 41g\frac{h}{\Delta} + 4.25$, (47) where h is the average depth of flow. | Small rivers with rectangular-shaped channels. |
| Knoroz, 1960, [52, 56, 57] | $C_r = 3.16\sqrt{g}\left(\frac{R}{h_r}\right)^{1/8}\left(\frac{l_r}{h_r}\right)^{1/2}$, (48) where h_r is the height (m), l_r is the length of bottom ridges (m). | Rivers with scaly-shaped ridges with developed turbulent zones within small sand channels. |

| 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---------------------|-------|------------------------|------|------|---------------------------|------|------|------------------------|------|------|--------------------------|------|--------|--|------|------|---|
| Graf, Limerinos, Griffiths, and Grishanin, 1966-1977, [52, 57, 73, 75] | $C_{\Delta} = \sqrt{g} \left(a \lg \frac{h}{\Delta} + b \right), \quad (49)$ where values of a , b are: <table border="1" data-bbox="407 305 848 472"> <thead> <tr> <th>Authors</th> <th>a</th> <th>b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Graf, W.</td> <td>5.75</td> <td>3.25</td> </tr> <tr> <td>Limerinos, J.</td> <td>5.66</td> <td>0.99</td> </tr> <tr> <td>Griffiths, J.</td> <td>5.60</td> <td>2.15</td> </tr> <tr> <td>Grishanin, K.</td> <td>5.66</td> <td>- 5.30</td> </tr> </tbody> </table> | Authors | a | b | Graf, W. | 5.75 | 3.25 | Limerinos, J. | 5.66 | 0.99 | Griffiths, J. | 5.60 | 2.15 | Grishanin, K. | 5.66 | - 5.30 | Gravel and pebble channels with a fixed bottom or channels with a ridgeless nature of sediment movement; $\Delta = d_{50}$. | | | |
| Authors | a | b | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Graf, W. | 5.75 | 3.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limerinos, J. | 5.66 | 0.99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Griffiths, J. | 5.60 | 2.15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grishanin, K. | 5.66 | - 5.30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zudina, 1973, [52] | $C_{\Delta} = \sqrt{g} \left(K_1 \lg \frac{h}{\Delta} + K_2 \right), \quad (50)$ where h is the average depth of flow and Δ is the height of protrusions (m). | For movable sediments and if $0.42 < h/d < 70$: $\Delta = d_{50}$, $K_1 = 6.0$, $K_2 = 3.7$. For river bed paving and if $0.28 < h/d < 52$: $\Delta = d_{80}$, $K_1 = 5.9$, $K_2 = 4.7$. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Radiuk, 1978, [52] | $C_{\Delta} = C_0 \left(\frac{h}{\Delta} \right)^{1/m_0}, \quad (51)$ where values of C_0 and m_0 are: <table border="1" data-bbox="407 991 848 1246"> <thead> <tr> <th>Limits of h/Δ</th> <th>C_0, $m^{0.5/c}$</th> <th>m_0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$0.4 < h/\Delta < 1.0$</td> <td>9.8</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>$1.0 < h/\Delta \leq 5.0$</td> <td>12.9</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>$5 < h/\Delta \leq 25$</td> <td>16.6</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>$25 < h/\Delta \leq 250$</td> <td>22.2</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>$250 < h/\Delta < 700$</td> <td>34.4</td> <td>0.10</td> </tr> </tbody> </table> | Limits of h/Δ | C_0 , $m^{0.5/c}$ | m_0 | $0.4 < h/\Delta < 1.0$ | 9.8 | 0.50 | $1.0 < h/\Delta \leq 5.0$ | 12.9 | 0.50 | $5 < h/\Delta \leq 25$ | 16.6 | 0.25 | $25 < h/\Delta \leq 250$ | 22.2 | 0.17 | $250 < h/\Delta < 700$ | 34.4 | 0.10 | If protrusions are homogeneous: $\Delta = (0.58 \div 0.72)d$, where d is the average size of flooded stones. As well as, it is applicable for $L_{\Delta}/d < 10$, $h/\Delta < 1$ if some protrusions are not flooded and for $L_{\Delta}/d > 10$ if all protrusions are flooded, where L_{Δ} is the distance between the protrusions (m). |
| Limits of h/Δ | C_0 , $m^{0.5/c}$ | m_0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $0.4 < h/\Delta < 1.0$ | 9.8 | 0.50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $1.0 < h/\Delta \leq 5.0$ | 12.9 | 0.50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $5 < h/\Delta \leq 25$ | 16.6 | 0.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $25 < h/\Delta \leq 250$ | 22.2 | 0.17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $250 < h/\Delta < 700$ | 34.4 | 0.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Snischenko, 1982, [52, 57] | $\lambda_r = 0,23 \frac{h_r}{l_r} + 0,0075, \quad (52)$ $C_r = \sqrt{8g/\lambda_r}$ where h_r is the height (m), and l_r is the length of bottom ridges (m). | It is applicable to the cases of the formation of scaly-shape ridges (dunes). | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sterenlicht, and Polad-zade, 1984, [53] | $C_r = 6.18g \left(\frac{R}{h_r} \right) \left(\frac{l_r}{h_r} \right), \quad (53)$ where R is hydraulic radius (m). | Application recommendations are similar to those for the equation (52). | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yen, 1991, [34, 62] | $\frac{C_{\Delta}}{\sqrt{8g}} = -2 \log \left(\frac{\Delta}{12R} + \frac{1.95}{Re^{0.9}} \right), \quad (54)$ where Re is the Reynolds number. | It can be applicable to flow with $Re > 3 \cdot 10^4$ and the relative roughness $\varepsilon = \Delta/R < 0.05$. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 |
|------------------------|--|---|
| Fenton, 2010, [34, 62] | $\frac{C_{\Delta}}{\sqrt{8g}} = -2 \log \left(\frac{\Delta}{12R} + \left(\frac{2}{Re} \right)^{0.9} \right), \quad (55)$ <p>where R is hydraulic radius and Δ is the height of protrusions (m); Re is the Reynolds number.</p> | Application recommendations are similar to those for the Yen equation (54). |

Most of the formulas listed in Table 3 have quite limited applications in practice. To get better results, the coefficients of these equations should be corrected based on data from detailed field investigations.

4.4. Formulas to calculate the Chézy coefficient C taking into account the effect of the water surface slope S_f

Admittedly, the adequate determination of the roughness coefficient n , as well as of protrusions of the channel roughness or the size of sediment ridges is one of the most difficult problems in open channel hydraulics. Therefore, researchers try developing formulas to determine the Chézy coefficient C that not contain above-mentioned parameters. One approach is to use the water surface slope (hydraulic slope) S_f as a determining parameter. The idea is the Chézy coefficient does depend on this parameter, and, sometimes, it does significantly. Eventually, the water surface slope S_f is used explicitly in many formulas determining the Chézy coefficient C and the roughness coefficient n .

Practice shows, when assessing the hydraulic resistance characteristics for open-channel flows, it is especially important to take into account the hydraulic slope in the case of unstable channels. Numerous field studies have revealed repeatedly, the water flow in unstable channels is able to arbitrarily change the size of protrusions of the roughness of movable bottom, to convert the movement of sediments from ridge-free to the bottom-ridge movement, and vice versa, as well as build or restore channel bed [52]. As a result, the hydraulic resistance of a river channel can change dynamically, and then the water surface slope, which integrally takes into account the influence of various hydro-morphological factors on hydraulic resistance, can appear to be a more informative hydraulic resistance characteristic, than, for example, the roughness coefficient n . Table 4 shows several formulas of the type of (12).

Table 4 – Formulas to calculate the Chézy roughness coefficient C taking into account the effect of the water surface slope S_f

| Formula author (s), year, references | Equation to calculate the Chézy roughness coefficient C | Common application recommendations |
|--------------------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Matachievitch, 1911, [76, 77] | $C = 35.4h^{0.2} S_f^{10S_f - 0.007}, \quad (56)$ <p>where h is the average flow depth (m).</p> | Relatively stable self-regulating river channels. |

| 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|-------|-------|-----------------------|---------------------------------|---------------|--|------|---------|--|------|---------------|--|------|----------|---------|-------|------|---|
| Winkel, 1926, [76] | $C = R^{3/14} S_f^{1/14} (185 - 210 S_f^{1/14}), \quad (57)$ where R is the hydraulic radius (m). | Relatively stable self-regulating river channels. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Shestakova, 1968, [52] | $C = k_1 S_f^{k_2}, \quad (58)$ where k_1, k_2 are coefficients whose values are accepted the following: <table border="1" data-bbox="405 490 850 725"> <thead> <tr> <th>River category</th> <th>k_1</th> <th>k_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A. Small plain rivers</td> <td>22.0</td> <td>-0.07</td> </tr> <tr> <td>B. Restless rivers in flood conditions</td> <td>18.5</td> <td>-0.10</td> </tr> <tr> <td>C. Small mountain rivers with pebble-boulder channel</td> <td>7.21</td> <td>-0.25</td> </tr> </tbody> </table> | River category | k_1 | k_2 | A. Small plain rivers | 22.0 | -0.07 | B. Restless rivers in flood conditions | 18.5 | -0.10 | C. Small mountain rivers with pebble-boulder channel | 7.21 | -0.25 | There are usage limits depending on the river category: A. $S_f = 0.0002 \div 0.0005, h > 1.0 \text{ m}, B < 100.0 \text{ m}$; B. $S_f = 0.0002 \div 0.0055, h > 3.0 \text{ m}, B > 100.0 \text{ m}$. C. $S_f = 0.002 \div 0.011, B < 50.0 \text{ m}$; where B is the average flow width and h is the average flow depth (m). | | | | | | |
| River category | k_1 | k_2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A. Small plain rivers | 22.0 | -0.07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B. Restless rivers in flood conditions | 18.5 | -0.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C. Small mountain rivers with pebble-boulder channel | 7.21 | -0.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altshuhl, and U-Van Thein, 1973, [74, 76] | $C = \left(\frac{14.8}{S_f^{1/6}} \right) - 26. \quad (59)$ | Canalized rivers, and $S_f = 0.00002 \div 0.0006$. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grishanin, 1979, [78] | $C = \frac{1}{M} \left(\frac{gh}{B \cdot S_f} \right)^{0.5}, \quad (60)$ $M = h(gB)^{0.25} / Q^{0.5};$ where B is the average flow width and h is the average flow depth (m); Q is the water discharge (m^3/s). | For relatively stable self-regulating river channels $M \approx 1$. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aivazyan, 1979, [52, 74] | $C = \left(\frac{8g}{k_1 + k_2 S_f^{1/3} / R} \right)^{0.5}, \quad (61)$ where R is the hydraulic radius (m); k_1, k_2 are coefficients whose values are accepted the following: <table border="1" data-bbox="405 1391 850 1646"> <thead> <tr> <th colspan="2">Channel category and conditions</th> <th>k_1</th> <th>k_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">In bound soils and silted sands</td> <td>Above average</td> <td>0.015</td> <td>0.23</td> </tr> <tr> <td>Average</td> <td>0.016</td> <td>0.26</td> </tr> <tr> <td>Below average</td> <td>0.019</td> <td>0.31</td> </tr> <tr> <td>In sands</td> <td>Average</td> <td>0.030</td> <td>0.12</td> </tr> </tbody> </table> | Channel category and conditions | | k_1 | k_2 | In bound soils and silted sands | Above average | 0.015 | 0.23 | Average | 0.016 | 0.26 | Below average | 0.019 | 0.31 | In sands | Average | 0.030 | 0.12 | $S_f = 0.00002 \div 0.002$, and $R = 0.10 \div 2.61$. |
| Channel category and conditions | | k_1 | k_2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| In bound soils and silted sands | Above average | 0.015 | 0.23 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Average | 0.016 | 0.26 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Below average | 0.019 | 0.31 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| In sands | Average | 0.030 | 0.12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

In general, there are some difficulties in choosing an acceptable empirical formula to calculate the Chézy coefficient C , which does not contain channel

roughness parameters. However, it is quite possible to choose similar formulas being effective for partial cases.

4.5. Formulas to calculate the Chézy coefficient C taking into account the influence of the relative width B/h or B/R of flow

As practice shows, the shape of channel cross-sections can also affect significantly hydraulic resistances to open flow in rivers. However, since, the cross-sections shapes of river channels can be very diverse, the formal quantitative assessment of their impact on hydraulic resistances is a significant challenge.

In order to simplify the task, the shape of a river channel cross-section is usually estimated by the ratio of the width B to the hydraulic radius R (B/R), or by the ratio of the width B to the average depth h (B/h) of flow. Thereby, a uniform open flow with an arbitrary cross-sectional shape is reduced to a flat flow with depth $h = R$. Table 5 shows several formulas of the type of (13).

Table 5 – Formulas to calculate the Chézy roughness coefficient C taking into account the relative width B/h or B/R of flow

| Formula author (s), year, references | Equation to calculate the Chézy roughness coefficient C | Common application recommendations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|---|
| 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altunin, 1962, [56, 57] | $C = \left[g \left(0.2(B/h)^2 + 43 \right) \right]^{0.5}, \quad (62)$ where B is the average flow width and h is the average flow depth (m). | $B \gg h, R \approx h$. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Radiuk, 1978, [52] | $C = \left(\frac{B}{h} \cdot \frac{Q^{K_4}}{K_1 S_f^{K_2}} \right)^{1/K_3}, \quad (63)$ where S_f is the water surface slope; Q is the water discharge (m^3/s); K_1, K_2, K_3, K_4 are coefficients whose values are accepted the following: <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>B (m)</th> <th>K_1</th> <th>K_2</th> <th>K_3</th> <th>K_4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4÷10</td> <td>36.8</td> <td>0.32</td> <td>0.49</td> <td>0.31</td> </tr> <tr> <td>14÷45</td> <td>12.1</td> <td>0.07</td> <td>0.60</td> <td>0.29</td> </tr> <tr> <td>46÷100</td> <td>13.2</td> <td>0.07</td> <td>0.46</td> <td>0.36</td> </tr> <tr> <td>> 100</td> <td>38.3</td> <td>0.01</td> <td>0.55</td> <td>0.23</td> </tr> </tbody> </table> | B (m) | K_1 | K_2 | K_3 | K_4 | 4÷10 | 36.8 | 0.32 | 0.49 | 0.31 | 14÷45 | 12.1 | 0.07 | 0.60 | 0.29 | 46÷100 | 13.2 | 0.07 | 0.46 | 0.36 | > 100 | 38.3 | 0.01 | 0.55 | 0.23 | Rivers and separate sections of rivers with rapids and alluvial channels. |
| B (m) | K_1 | K_2 | K_3 | K_4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4÷10 | 36.8 | 0.32 | 0.49 | 0.31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14÷45 | 12.1 | 0.07 | 0.60 | 0.29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46÷100 | 13.2 | 0.07 | 0.46 | 0.36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 100 | 38.3 | 0.01 | 0.55 | 0.23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Borovkov, 1989, [56, 57] | $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 21g \frac{R}{k} + 31g \frac{B}{R} - 1,85, \quad (64)$ $\lambda = \frac{8g}{C^2},$ where λ is the Darcy – Weisbach friction factor; k is the particles size of sediments (m). | River channels with sandy sediments if $B \gg h, R \approx h$. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 |
|----------------------------|--|--|
| Simanovich, 1998, [56, 57] | $C = 0.78C_0 + \frac{0.000464C_0^3}{g((B/h) - 2\tilde{a})P}, \quad (65)$ <p>where C_0 is the Chézy coefficient for conditions of a flat flow; it can be determined according to formulas of the type of (10); \tilde{a} is the relative width of the wall layer; P is the probability of exchanging the amount of motion.</p> | It is accepted the more homogeneous the flow is the smaller value of the probability P is appointed. |

Table 5 shows the simplest formulas that can be used to calculate the Chézy coefficient taking into account the relative flow width. The formula (63) can also be very useful to identify the Chézy roughness coefficient C based on measured values of B , h , S_f , and Q .

4.6. Implicit empirical formulas to calculate the Chézy coefficient C

Table 6 shows a few implicit empirical formulas used to calculate the Chézy roughness coefficient C depending on different parameters. These formulas are mentioned in the literature most often (see, [28, 51, 52, 62, 71, 79]).

Table 6 – Examples of implicit empirical formulas to calculate the Chézy roughness coefficient C

| Formula author (s), year, references | Equation to calculate the Chézy roughness coefficient C | Common application recommendations |
|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Colebrook, and White, 1937, [28, 51, 62] | $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\Delta}{12R} + \frac{2.5}{\text{Re}\sqrt{\lambda}}\right), \quad (66)$ $\lambda = \frac{8g}{C^2},$ <p>where λ is the Darcy – Weisbach friction factor; R is the hydraulic radius (m); Δ is the height of protrusions (m); Re is the Reynolds number.</p> | For partly rough turbulent flows. |
| Thijssse, 1949, [79] | $C = -18\log\left(\frac{\Delta}{12R} + \frac{C}{3\text{Re}}\right), \quad (67)$ <p>where Δ is the absolute roughness (m); R is the hydraulic radius (m).</p> | For the entire domain of turbulent flows. |
| Powell, 1950, [8, 71] | $C = -42\log\left(\frac{C}{4\text{Re}} + \frac{\Delta}{R}\right), \quad (68)$ <p>where Δ is the absolute roughness (m); R is the hydraulic radius (m); Re is the Reynolds number.</p> | For the entire domain of turbulent flows. |

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|---|
| Artamonov, Kroshkin, and Talmaz, 1972, [52] | $C_{\Delta} = 7.4K\sqrt{g}\left(\frac{h}{\Delta}\right)^{1/m}, \quad (69)$ $K = \frac{m-1,5}{m+1} \lg\left(\frac{31\frac{h}{\Delta}+2}{\left(\frac{h}{\Delta}+2\right)}\right),$ $m = \frac{C_{\Delta}}{\sqrt{g}} \left(\frac{2\sqrt{g}}{\sqrt{g}+C_{\Delta}} + 0,3 \right),$ where h is the average depth of flow (m), Δ is the height of protrusions of the roughness (m). | Parameter limits: $\Delta = d_b$, where d_b is the weighted average diameter of sediments in the river bed paving; $h/\Delta = 1 \div 1000$; $m > 1,5$. |
| Agroskin, and Zheleznyakov, 1981, [52] | $C = \frac{1}{n} + \frac{\sqrt{g} + C}{1 + 0.13C/\sqrt{g}} \lg R, \quad (70)$ where n is the Manning roughness coefficient ($s/m^{1/3}$); R is the hydraulic radius (m). | Parameter limits: $0.1 \leq R \leq 5.0$ m, $0.011 \leq n \leq 0.04$ |

Although implicit formulas necessitate an iterative calculation method usage, they can be successfully implemented in practice in mathematical modelling of open flows. In particular, when using implicit formulas, the corresponding explicit formulas, which involve the same parameters as implicit equations do, can be used to obtain first approximations of the Chézy coefficient estimations. Such an approach can appear to be quite useful to optimize the iterative process.

5. Discussion

In general, there is no ideal way or method to determine the Chézy roughness coefficient. Among the main challenges to be highlighted there is the uncertainty of hydro-morphological changes associated with sedimentation and erosion activity of natural watercourses, and the seasonal changes in aquatic and coastal vegetation including those of floodplains. As well as, the hydraulic resistance can depend on space-time changes of other hydraulic characteristics. Practical experience and possible options analysis considering different empirical formulas used to estimate the hydraulic resistance to open flows, as well as the comprehensiveness of field researches can have a key role when estimating of the Chézy coefficient. The assessment of the accuracy of the Chézy coefficient computing based on field data according to different methods and formulas indicates that the accuracy of field measurements of the parameters included in selected formulas largely determines the relative error of the calculations.

Calibration studies show that quite reliable results can be obtained using the formulas by Manning (17), Forchheimer (19), Pavlovskii (20), Agroskin (21), Zheleznyakov (26), Mamedov (27), Matachievitch (56), Winkel (57) [8–10, 52–54, 56, 57, 70, 71, 73, 74, 77]. These are the formulas of the type of (10) and (12), namely: $C = f(n, R)$ or $C = f(n, h)$, and $C = f(S_f, h)$ or $C = f(S_f, R)$. They may be considered the most effective ones among the simplest empirical formulas to calculate the Chézy coefficient C . Perhaps, it is because the parameters n and S_f

are complex ones and the most complete by effects among all parameters, which reflect influence of different hydro-morphological factors on the hydraulic resistance to flows in river channels.

All the above-shown formulas can be quite reliable and give calculated results with the practically acceptable accuracy provided the high accuracy for all gauged hydro-morphological parameters, as well as the compliance of recommended conditions and limits application. Although, whatever, the relative error in calculating the Chézy coefficient values according to a majority of formulas in comparison to the results of their identification based on measurements of water flow at gauges is rarely less than 15 per cent.

A promising approach to compute the Chézy coefficient in some sections of a river may be using dependencies taking into account the water surface slope S_f . It is because the accuracy of the water surface slope determination depends on the accuracy of water level measurements; whereas they are the simplest element of the river flow in terms of direct measurements. In the field condition, the absolute error of measuring water levels in rivers at water gauges is usually 1 cm.

In general, the accuracy of water level measurements depends on the accuracy of hydrometric reference heights and the sufficient duration of water level observations to take into account their possible pulsations, which is especially important for mountain streams. This may explain the discrepancy in the values of water surface slopes obtained at different times by different expeditions including the modern GNSS technology usage. In particular, when using the GNSS technology in mountainous conditions, a challenge is if semi-enclosed horizons are explored. In turn, the binding of hydrometric sites, according to Ukraine's standards, is usually performed by means of levelling of the 4th class, which allows an error of $50 \text{ mm} \sqrt{L}$, where L is the length of the levelling course (km). Obviously, one of the problems of ensuring the proper accuracy of the determination of water surface slopes may be the insufficient density of the network of hydrometric observations. When constructing this network and determining the water surface slopes on certain sections of a river, it is also necessary to take into account the peculiarities of the fluvial-morphological process. For example, our experience shows, for river channel areas with a length of more than 5..7 lengths of their mesoforms, the value of the weighted average water surface slope should be used, instead of its average value between sites.

For rapid stream rivers, water level pulsations can also have a noticeable effect on the accuracy of determining water levels. The problems of their influence on the accuracy of determining water levels on rapid stream rivers were studied in detail in the 60s of the last century by O.N. Borsuk [80]. In particular, he found that with increasing the duration of measurements from 2 to 5 minutes, the error of water level measurements decreases significantly. Therefore, water levels on mountainous rivers should be measured at least 20 times in 5–10 minutes, so that the average error of their measurements does not exceed 1 cm.

Conclusions

1. In many cases, the accuracy of determining the hydraulic resistance characteristics can largely affect the accuracy of solving tasks relating to designing hydraulic structures and water management of rivers regardless of chosen mathematical

models or methods. Rivers are characterized by a significant variety of flow conditions, so hydraulic resistance to flows in rivers can vary widely determining their flow capacity. Considering the variety of river hydro-morphology and hydrology, the Chézy roughness coefficient appears to be the most complete characteristic of hydraulic resistance to open flows in river channels comparing with other corresponding integral empirical characteristics.

2. There are a large number of empirical and semi-empirical formulas to calculate the Chézy roughness coefficient. In general, all the existing empirical formulas and dependencies used to calculate the Chézy coefficient can be divided and systematized into four main groups. The first group consists of formulas in which mostly there is established the dependence of the Chézy coefficient on the roughness coefficient including, sometimes, the hydraulic radius or the average flow depth. The second group consists of formulas in which the value of hydraulic resistance is determined by the height of protrusions of the roughness of a channel or average diameter of soil particles making up the bottom and banks of the channel, or the height and length of bottom ridges. The third group consists of formulas taking into account the effect of the water surface slope and average flow depth or hydraulic radius. The fourth group consists of formulas taking into account the influence of the relative width B/h (or B/R) of flow. Separately, an implicit formulas group can also be singled out. To determine the Chézy coefficient by those formulas, a trial-and-error procedure has to be used.

3. In total, 43 formulas to calculate the Chézy roughness coefficient, as well as 13 formulas that can be used to estimate the Manning roughness coefficient were analyzed and systematized. Based on these formulas, about 250 empirical equations can be compiled to calculate the Chézy coefficient depending on hydro-morphological peculiarities of rivers and river channels, hydraulic conditions, formula application limits, and so on.

4. Practical experience and options analysis considering different approaches, methods, and empirical formulas used to estimate the hydraulic resistance to open flows, as well as the comprehensiveness of field researches can have a key role in reliable estimating of the Chézy coefficient. The assessment of the accuracy of the Chézy coefficient calculation based on field data according to different methods and formulas indicates that the accuracy of field measurements of the parameters included in selected formulas largely determines the relative error of calculations.

REFERENCES

1. Abbott, P. L. (1996). *Natural Disasters*. Wm. C. Brown Publishing Co, 438 p.
2. Korbutiak, V., Stefanyshyn, D., Lahodniuk, O., and Lahodniuk, A. (2020). The combined approach to solving issues of the flood hazard assessment using water gauge records and spatial data. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 19 (1), 111–118; DOI: <https://doi.org/10.22630/ASPA.2020.19.1.12>.
3. Hydropower Status Report. Sector trends and insights. (2020). IHA. Available from <https://www.hydropower.org/publications/2020-hydropower-status-report>.
4. Riverine Ecosystem Management. Science for Governing Towards a Sustainable Future. (2018). Schmutz, S., and Sendzimir, J., Editors. Aquatic Ecology Series. Volume 8. Springer Open, 562 p.
5. Kakoyannis, Ch., and Stankey, G.H. (2002). Assessing and evaluating recreational uses of water resources: implications for an integrated management framework. Gen. Tech. Rep.

- PNW-GTR-536. Portland, OR: U.S. Dep. of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 59 p.
6. River tourism. (2009). Ed. by Prideaux, B., and Cooper, M. Oxfordshire: CABI Publishing, 269 p.
7. Kumm, M., de Moel, H., Ward, and P.J., Varis, O. (2011). How Close Do We Live to Water? A Global Analysis of Population Distance to Freshwater Bodies. *PLoS ONE* 6(6): e20578; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020578>.
8. Chow, V.T. (1959). *Open-channel hydraulics*. N.Y., McGraw-Hill, 680 p.
9. French, R.H. (1986). *Open-channel hydraulics*. N.Y., McGraw-Hill, 705 p.
10. Sturm, T.W. (2001). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, N.Y., 493 p.
11. Introduction to hydrology. (1975). First ed. by W., Viessman, Jr., T. E., Harbaugh, and J. W., Knapp. Intext ed. publishers. N.Y., London, 704 p.
12. Mujumdar, P.P. (2001). Flood wave propagation. *Reson* 6, 66–73; <https://doi.org/10.1007/BF02839085>.
13. Veksler, A.B., Ivashintsov, D.A., and Stefanishin, D.V. (2002). Reliability, social and environmental safety of hydraulic structures: risk assessment and decision making. St. Petersburg: VNIIG B.E. Vedeneva, 591 p. (in Russian).
14. Ponce, V.M., Taher-shamsi, A., and Shetty, A.V. (2003). Dam-Breach Flood Wave Propagation Using Dimensionless Parameters. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 129, Issue 10, 777–782; DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:10\(777\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:10(777)).
15. River channels: environment and processes. (1987). Institute of British Geographers Special Publications. By K., Richards. Wiley–Blackwell, 400 p.
16. Julien, P.Y. (2002). *River Mechanics*. Cambridge University Press, UK, 456 p.
17. Schodro, A.E. (2007). River Bed Deformations Near Banks and Hydraulic Structures due to River Flow. Proc. of 4th Int. Conf. on River Basin Management Including all Aspects of Hydrology, Ecology, Environmental Management, Flood Plains and Wetlands. WIT-Press, Southampton, Boston, 381–387.
18. Khodnevich, Y.V., and Stefanyshyn, D.V. (2014). Mathematical modelling the conditions of intensification of the riverbed local erosion behind of obstacle that deviates from the shore downstream. *Zeszyty Naukowe Inżynieria Łądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska*, Nr 10, Kalisz, 7–18.
19. Julien, P.Y. (2010). *Erosion and sedimentation*. Cambridge University Press, 371 p.
20. Fagherazzi, S., Edmonds, D. A., Nardin, W., Leonardi, N., Canestrelli, A., Falcini, F., Jerolmack, D.J., Mariotti, G., Rowland, J.C., and R. L. Slingerland (2015). Dynamics of river mouth deposits. *Rev. Geophys.*, 53, 642–672; doi: <https://doi.org/10.1002/2014RG000451>.
21. Cao, Z. and Carling, P. A. (2002). Mathematical modelling of alluvial rivers: reality and myth. Part I: General review. *Proc. of the Institution of Civil Engineers Water & Maritime Engineering*, 154, Issue 3, 207–219.
22. Two-Dimensional Hydraulic Modeling for Highways in the River Environment. Ref. Document. (2019). Publ. No. FHWA-HIF-19-061, U.S. Department of Transportation, FHWA, 301 p. Available from <https://portal.ct.gov/-/media/DOT/documents/ddrainage/2-D-Hydraulic-Modeling-Reference-Document.pdf>.
23. Nikishov, V.I. (2007). From hydraulics of open streams to hydromechanics of river systems. *Applied hydromechanics*, Vol. 9, No. 2-3, 103–121. (in Russian).
24. The UN-Water Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management. (2012). Nairobi, Kenya, 119 p. Available from https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/un_water_status_report_2012.pdf.
25. De Wrachien, D., Mambretti, S. and Sole, A. (2010). Mathematical models in flood management: overview and challenges. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 133, 61–72; doi: <https://doi.org/10.2495/FRIAR100061>.
26. Gül, G.O., Harmancıoğlu, N., Ali Güll, A. (2010). A combined hydrologic and hydraulic modelling approach for testing efficiency of structural flood control measures. *Nat. Hazards*, 54, 245–260; DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9464-2>.

27. Kasvi, E., Alho, P., Lotsari, E., Wang, Y., Kukko, A., Hyypä, H., and Hyypä, Yu. (2014). Two-dimensional and three-dimensional computational models in hydrodynamic and morphodynamic reconstructions of a river bend: sensitivity and functionality. *Hydrological Processes*, Pub. online in Wiley Online Library; DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.10277>.
28. Giustolisi, O. (2004). Using genetic programming to determine Chézy resistance coefficient in corrugated channels. *Journal of Hydroinformatics*, 06.3, 157–173.
29. Hin, L.S., Bessaih, N., Ling, L.P., Ghani, A.A., Zakaria, N.A., and Seng, M.Y. (2008). A study of hydraulic characteristics for flow in equatorial rivers. *International Journal of River Basin Management*, 6:3, 213–223. DOI: <https://doi.org/10.1080/15715124.2008.9635349>.
30. Machiels, O., Erpicum, S., Archambeau, P., Dewals, B., and Piroton, M. (2009). Bottom friction formulations for free surface flow modeling, Proc. of the 8th NCTAM Congress, Brussels. Available from <http://hdl.handle.net/2268/28208>.
31. Dash Saine S., Khatua, K.K., Naik, B., and Mohanty, P.K. (2013). Energy loss for a highly Meandering open Channel Flow. *Research J. of Eng. Sciences*. Vol. 2 (4), 22–27.
32. Stewart, M.T., Cameron, S. M., Nikora, V. I., Zampiron, A., and Marusic, I. (2019). Hydraulic resistance in open-channel flows over self-affine rough beds. *J. of Hydraulic Research*, 57:2, 183–196; DOI: <https://doi.org/10.1080/00221686.2018.1473296>.
33. Zhu, X., Liu, B., and Liu, Y. (2020). New Method for Estimating Roughness Coefficient for Debris Flows. *Water*, 12, 2341; doi: <https://doi.org/10.3390/w12092341>.
34. Fenton, J.D. (2010). Calculating resistance to flow in open channels. *Alternative Hydraulics Paper 2*. Available from <http://johndfenton.com/Alternative-Hydraulics.html>.
35. Dyakonova, T., and Khoperskov, A. (2018). Bottom friction models for shallow water equations: Manning’s roughness coefficient and small-scale bottom heterogeneity. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 973. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/973/1/012032>.
36. Liang, D., Falconer, R.A., and Lin, B. (2007). Linking one- and two-dimensional models for free surface flows. *Water Management*, Vol. 160, Issue 3, 145–151; <https://doi.org/10.1680/wama.2007.160.3.145>.
37. Wang, Yu., Liang, Q., Kesserwani, G., and Hall, J.W. (2011). A 2D shallow flow model for practical dam-break simulations, *Journal of Hydraulic Research*, 49:3, 307–316; DOI: <https://doi.org/10.1080/00221686.2011.566248>.
38. De Wrachien, D., Mambretti, S., and Sole, A. (2010). Mathematical models in flood management: overview and challenges. *WIT Trans. on Ecology and the Environment*, Vol. 133. *Flood Recovery, Innovation and Response*, 61–72. DOI: <https://doi.org/10.2495/FRIAR100061>.
39. Costabile, P., Costanzo, C., Maccione, F., and Mercogliano, P. (2012). Two-dimensional model for overland flow simulations: A case study. *Eur. Water* 38, 13–23.
40. Lousada, S., Loures, L. (2020). Modelling Torrential Rain Flows in Urban Territories: Floods – Natural Channels (The Case Study of Madeira Island). *American Journal of Water Science and Engineering*, Vol. 6, No. 1, 17–30. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajwse.20200601.13>.
41. Park, I., Song, Ch.G. (2018). Analysis of two-dimensional flow and pollutant transport induced by tidal currents in the Han River. *Journal of Hydroinformatics*, 20 (3): 551–563; DOI: <https://doi.org/10.2166/hydro.2017.118>.
42. Esposti Ongaro, T., Cerminara, M., Charbonnier, S.J. et al. (2020). A framework for validation and benchmarking of pyroclastic current models. *Bull. Volcanology*, 82, 51; DOI: <https://doi.org/10.1007/s00445-020-01388-2>.
43. Qin, X., Motley, M., LeVeque, R., Gonzalez, F., and Mueller, K. (2018). A comparison of a two-dimensional depth-averaged flow model and a three-dimensional RANS model for predicting tsunami inundation and fluid forces. *Natural Hazards Earth System Sci.*, 18, 2489–2506; DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2489-2018>.

44. HEC-RAS River Analysis System. User's Manual V. 6.0. (2021). US Army Corps of Engineers. Inst. for Water Resources. Hydrologic Eng. Center. Available from https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_6.0_Users_Manual.pdf.
45. Churuksaeva, V., Starchenko, A. (2015). Mathematical modeling of a river stream based on a shallow water approach. *Procedia Computer Science*, 4th Int. Young Scientists Conf. on Computational Science, Vol. 66, 200–209; doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.11.024>.
46. Stefanyshyn D.V., Korbutiak V.M., Stefanyshyna-Gavryliuk Y.D. (2019). Situational predictive modelling of the flood hazard in the Dniester river valley near the town of Halych. *Environmental safety and natural resources*, Issue 1 (29), 16–27; DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.1.16-27>.
47. Sellier, M. (2016). Inverse problems in free surface flows: a review. *Acta Mechanica*, 227, 913–935; <https://doi.org/10.1007/s00707-015-1477-1>
48. Ivashintsov, D.A., Sokolov, A.S., Shulman, S.G., and Yudelevich, A.M. (2001). Parametric identification of hydraulic structural design models. St. Petersburg, VNIIG B.E. Vedeneeva, 431 p. (in Russian).
49. Lagodnyuk, A.M., Korbutyak, V.M., Stefanyshyn, D.V. (2016). Identification of floodplains roughness coefficient with using remote sensing data to support mathematical modelling of unsteady water movement under floods. *Environmental safety and natural resources*, Issue 2 (22), 83–94. (in Ukrainian).
50. Radoux, Ju., Chomé Gu., Jacques, D.-Ch., Waldner, F., Bellemans, N., Matton, N., Lamarche, C., d'Andrimont, R., and Defourny, P. (2016). Sentinel-2's Potential for Sub-Pixel Landscape Feature Detection. *Rem. sensing*, 8, 488; doi: <https://doi.org/10.3390/rs8060488>.
51. Bacoțiu, C. (2020). The quest for the ideal Darcy-Weisbach friction factor equation from the perspective of a building services engineer. *Ovidius University Annals Series: Civil Engineering*, Vol. 21, No. 1, 65–73; DOI: <https://doi.org/10.2478/ouacscce-2019-0008>.
52. Zheleznyakov, G.V. (1981). Throughput ability of channels of canals and rivers. Leningrad, Gidrometeoizdat, 311 p.
53. Shterenlicht, D.V. (1984). *Hydraulics*. Moscow, Energoatomizdat, 640 p.
54. Coon, W.F. (1998). Estimation of roughness coefficients for natural stream channels with vegetated banks. Prepared in cooperation with the New York State Department of Transportation, 133 p.
55. *Hydraulic calculations of spillway hydraulic structures*. (1988). Reference manual. Moscow, Energoatomizdat, 624 p. (in Russian).
56. Baryshnikov, N.B. (2003). Hydraulic resistance of river channels. Tutorial. St. Petersburg, Russian State Hydrometeorological University, 147 p. (in Russian).
57. Baryshnikov, N.B. (2016). Channel flow dynamics. St. Petersburg, Russian State Hydrometeorological University. 342 p. (in Russian).
58. Strupczewski, W.G., Szymkiewicz, R. (1996). Analysis of paradoxes arising from the Chezy formula with constant roughness: I. Depth-discharge curve. *Hydrological Sciences Jour.*, 41:5, 659–673; DOI: <https://doi.org/10.1080/02626669609491537>.
59. Jiménez-Medina, O. (2015). Fórmulas generales para los coeficientes de Chézy y de Manning. *Water Technology and Sciences*, 6 (3), 33–38 (in Spanish).
60. Lama, G.F.C., Errico, A., Francalanci, S., Solari, L., Preti, F., and Chirico, G.B. (2020). Evaluation of Flow Resistance Models Based on Field Experiments in a Partly Vegetated Reclamation Channel. *Geosciences*, 10, 47; doi: <https://doi.org/10.3390/geosciences10020047>.
61. Khatua, K.K., Patra, K.C., and Nayak, P. (2011). Meandering effect for evaluation of roughness coefficients in open channel flow. *River Basin Management VI. WIT Trans. on Ecology and the Environment*, Vol. 146, 213–224; doi: <https://doi.org/10.2495/RM110191>.
62. Zidan, A. R. A. (2015). A review of friction formulae in open channel flow. *International Water Technology Journal*, Vol. 5, No. 1, 43–57.

63. Wang, W.-J., Peng, W.-Q., Huai, W.-X., Katul, G.G., Liu, X.-B., Qu, X.-D., and Dong, F. (2019). Friction factor for turbulent open channel flow covered by vegetation. *Scientific reports*, 9:5178; doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41477-7>.
64. Zeghadnia, L., Robert, J. L., and Achour, B. (2019). Explicit solutions for turbulent flow friction factor: A review, assessment and approaches classification. *Ain Shams Engineering Jour.*, 10, 243–252; doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.10.007>.
65. Arcement, G.J., and Schneider, V.R. (1989). *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. United States Geological Survey, Water-supply Paper 2339; doi: <https://doi.org/10.3133/wsp2339>
66. Kim, Ji-S., Lee, Ch.-J., Kim, W., and Kim, Y.-J. (2010). Roughness coefficient and its uncertainty in gravel-bed river. *Water Science and Engineering*, Vol. 3, No. 2, 217–232; doi: <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2010.02.010>.
67. Al-Asadi, K., and Duan, J.G. (2017). Assessing methods for estimating roughness coefficient in a vegetated marsh area using Delft3D. *Journal of Hydroinformatics*, 19(5), 766–783; DOI: <https://doi.org/10.2166/hydro.2017.064>.
68. Ye, A., Zhou, Zh., You, J., Ma, F., and Duan, Q. (2018). Dynamic Manning's roughness coefficients for hydrological modelling in basins. *Hydrology Research*, 49, 1379–1395; DOI: <https://doi.org/10.2166/nh.2018.175>.
69. Sadeh, Y., Cohen, H., Maman, S., and Blumberg, D.G. (2018). Evaluation of Manning's n Roughness Coefficient in Arid Environments by Using SAR Backscatter. *Remote Sensing*, 10, 1505; doi: <https://doi.org/10.3390/rs10101505>.
70. Mamedov, A. Sh. (2011). On the calculation of the Chezy coefficient of the river flow. *Hydraulics, hydrology, water resources*, 3, 62-67. (in Russian).
71. Achour, B. (2015). Chezy's Resistance Coefficient in a Rectangular Channel. *Journal of Scientific Research & Reports*, 7(5), 338–347.
72. Karim, L., and Larue, J.-P. (2016). Évaluation du Coefficient De Frottement Dans Le Cas D'un Écoulement À Surface Libre. *European Scientific Journal*, Vol.12, No.15, 418–433; doi: <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n15p418>. (in French).
73. Lepikhin, A.P., Bogomolov, A.V., Dalkov, M.P. (2012). Estimation of the Chezy coefficient: tradition and state of the art. *Water management of Russia*, No. 3, 57–77. (in Russian).
74. Karasev, I.F. (2007). Hydraulic resistance and system morphometry of self-forming riverbeds and canals. *Bulletin of the Russian State Pedagogical University*, No. 7 (26), 153–164. (in Russian).
75. Limerinos, J. (1970). *Determination of the Manning Coefficient From Measured Bed Roughness in Natural Channels*. Studies of flow in alluvial channels. US Government printing office, Washington, 51 p.
76. Altshul, A.D., U-Van Thein. (1973). Comparison of formulas without roughness coefficient for determining the average water flow velocity in rivers. *Hydrotechnical construction*, No 1, 41–42. (in Russian).
77. Volynov, M.A. (2011). The carrying capacity of self-regulating river channels. *Environmental management*, No 5, 66–70. (in Russian).
78. Grishanin, K.V. (1979). *The dynamics of channel flows*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 312 p. (in Russian).
79. Loukam, I., Achour, B., Djemili, L. (2018). Chezy's resistance coefficient in an egg-shaped conduit. *Journal of Water and Land Development*, No. 37, 87–96; DOI: <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0028>.
90. Borsuk, O.N. (1960). Influence of waves and water level pulsations on mountain rivers on the accuracy of water-measuring observations. *Proc. of the State Hydrological Institute*, Issue 90. (in Russian).

The article was received 17.05.2021 and was accepted after revision 26.08.2021

Д.В. Стефанишин, Я.В. Ходневич, В.М. Корбутяк
ОЦІНКА КОЕФІЦІЄНТА ШОРСТКОСТІ ШЕЗІ ЯК ХАРАКТЕРИСТИКИ
ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ПОТОКУ В РІЧКОВИХ РУСЛАХ: ЗАГАЛЬНИЙ
ОГЛЯД, ІСНУЮЧІ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОДОЛАННЯ

Анотація. У роботі подано систематизований огляд проблеми розрахунку коефіцієнта шорсткості Шезі як однієї з емпіричних характеристик гідравлічного опору, яка найбільш часто використовується на практиці. Огляд подається в контексті формування достовірних емпіричних даних, необхідних для підтримки гідротехнічних розрахунків та математичного моделювання відкритих потоків у руслах річок. Актуальність проблеми обумовлена великою кількістю практичних завдань, які потребують такого попереднього дослідження. У багатьох випадках точність визначення емпіричних характеристик гідравлічного опору може значною мірою вплинути на точність вирішення завдань річкової гідравліки, що стосуються проектування гідротехнічних споруд та управління водними ресурсами річок, незалежно від обраних математичних моделей або методів.

Річки характеризуються значним різноманіттям умов течії, тому гідравлічний опір потокам у річках може змінюватися в широких межах, визначаючи пропускну здатність русел. Якщо взяти до уваги різноманітність гідроморфології та гідрології річок, коефіцієнт шорсткості Шезі видається найбільш повною характеристикою гідравлічного опору відкритим потокам у річкових руслах порівняно з іншими інтегральними емпіричними характеристиками гідравлічного опору.

В даний час існує велика кількість емпіричних і напівемпіричних формул для розрахунку коефіцієнта шорсткості Шезі. Основною метою цього дослідження було проаналізувати та систематизувати їх у контексті забезпечення належної підтримки завдань річкової гідравліки, зокрема математичного моделювання відкритих потоків в річках. Для досягнення мети дослідження було проведено огляд літератури щодо проблеми визначення інтегральних характеристик гідравлічного опору відкритій течії в річкових руслах, а також досліджено та систематизовано найбільш відомі формули, які використовуються для розрахунку коефіцієнта шорсткості Шезі на практиці. Загалом було проаналізовано та систематизовано 43 формули для розрахунку коефіцієнта шорсткості Шезі, а також 13 формул, які можна використовувати для оцінки коефіцієнта шорсткості Маннінга. На основі всіх цих формул можна скласти близько 250 емпіричних рівнянь для розрахунку коефіцієнта Шезі залежно від гідроморфологічних особливостей річок та річкових русел, гідравлічних умов, меж застосування формул тощо.

Ключові слова: емпіричні характеристики; гідравлічний опір; відкриті потоки; річкова гідравліка; річкові русла; коефіцієнт шорсткості Шезі

Стаття надійшла до редакції 17.05.2021 і прийнята до друку після рецензування 26.08.2021

Стефанишин Дмитро Володимирович

доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7620-1613> e-mail: d.v.stefanyshyn@gmail.com

Ходневич Ярослав Васильович

кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5510-1154> e-mail: ya.v.khodnevych@gmail.com

Корбутяк Василь Михайлович

кандидат технічних наук, доцент кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики Національного університету водного господарства та природокористування

Адреса робоча: 33028 Україна, м. Рівне, вул. Соборна, 11

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8273-2306> **e-mail:** v.m.korbutiak@nuwm.edu.ua

UDC 551.4 + 477.86

Oleh M. Adamenko¹, D. S., Professor of Ecology Institute of Natural Sciences and Tourism, Department of Ecology
ORCID ID 0000-0003-0821-3011 *e-mail*: katolrad22@gmail.com

Macej Kotarba², Professor, dr. hab. inz., Faculty of geology, geophysics and environmental protection

Kateryna O. Radlowska¹, PhD, Associate Professor of Ecology
ORCID ID 0000-0003-2640-4735 *e-mail*: katolrad22@gmail.com

Mykola I. Mosiuk¹, PhD, Associate Professor
ORCID ID 0000-0002-9828-7331 *e-mail*: mosiuk@ukr.net

Valery G. Omelchenko¹, PhD, Director of the Institute of Natural Sciences and Tourism

Slawomir Bebenek², dr. inz., Faculty of geology, geophysics and environmental protection
e-mail: sbebenek@agh.edu.pl

Volodymyr R. Khomyn¹, D. S., Professor, Head of the Department of Engineering Geology and Hydrogeology

Jacek Matyszkiewicz², Professor, dr. hab. inz., Faculty of geology, geophysics and environmental protection
e-mail: jamat@agh.edu.pl

¹ Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

² AGH University of science and technology, Krakow, Poland

STARUNYA: FROM GEOLOGICAL MONUMENT TO NATURE UNESCO GEOPARK

Summary. One of the natural wonders of Prykarpatya is the village Starunia – with embalmed in ozokerite and well-preserved carcasses of mammoths and hairy rhinos and an active mud volcano, will undoubtedly delight us with new exploratory discoveries in the field of geology, paleontology and archeology. It is possible that here, together with large fossil mammals of the Ice Age, the remains of hunters on them – our ancestors Cro-Magnons – could be preserved. This discovery would have, without the slightest exaggeration, an international dimension. Therefore, it is necessary to continue the comprehensive study of Starunia, to promote it among environmentalists, scientists, students and schoolchildren. All this develops a love for native nature, encourages the preservation of its unique objects and historical and cultural heritage.

The preparation of "Starunia" for the UNESCO World Geoparks Network by specialists of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUNG) in accordance with UNESCO requirements is highlighted by UNESCO Geoparks Program.

According to these requirements to give the geological monument of nature "Starunia" the status of "geopark" it is necessary to study and give a standard description of all components of the environment: geological environment and endogeodynamic processes, relief (geomorphosphere) and dangerous

exogeodynamic processes, hydro- and atmosphere, soil and plants cover, social environment, technosphere and their anthropogenic changes; assess the current environmental situation and develop environmental protection measures. This is not yet the case.

In order to further study "Starunia" in IFNTUNG developed Regional Comprehensive Program for 2022–2023 "Starunia: from a natural monument to the geopark of the Ice Age", which was transferred to the Ivano-Frankivsk Regional State Administration and the Regional Council.

Thus, the world-famous geological natural monument of national importance "Starunia" deserves a separate national program and shorter deadlines for its implementation, which would allow including "Starunia" in the world network of UNESCO geoparks.

Keywords: Program; geological monument; geopark; endogeodynamic processes; fauna

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.44-50>

From the history of research

The first finds of mummified carcasses of a hairy rhinoceros, mammoth remains of a horse, roe deer and other animals of the Pleistocene so-called mammoth fauna were made at a depth of 12.6 m when digging a mine (mine) for ozokerite production near the village. The elders of the Bohorodchany district of the Ivano-Frankivsk region in 1907. Scientists from Krakow and Lviv appreciated these unique discoveries and published a number of articles and a monograph in 1914 [10].

In 1929 expedition of the Academy of Skills from Krakow while digging a mine at a depth of 17 m found the remains of 3 more hairy rhinos. Numerous bones of small vertebrates (rodents), shell remains, numerous species of insects, beetles, parasitic worms, butterflies, spiders, snails, vascular plants, seeds and branches of dwarf birch, alder and other tundra flora were also collected. Polish scientists organized a comprehensive study of fauna and flora, some of their results were published in articles, but World War II suspended this process [11].

In the period between the First and Second World Wars, as well as in the postwar years 1945–1969, ozokerite deposits (Starunske and Dzvinyachske) were explored in Starunia and neighbouring areas, which continued to be developed. Intensive oil exploration was also carried out, but its deposits, including in the dome of the Starunia fold, were used for industrial exploitation [4, 6, 7, 12].

In March 1977 after the earthquake, the first and mud volcano appeared in the ozokerite deposit, which added a new "sound" to the Starunia paleontological site. Professors of the Ivano-Frankivsk Institute of Oil and Gas, doctors of geological and mineralogical sciences Nadiya Bilous and Veniamin Klyarovskiy studied the manifestations of mud volcanism in Starunia during 1977–1988. They "achieved" the registration of this area of 60 hectares as a geological natural monument of national importance [5].

During the same period, geologists O.M. Adamenko, O.R. Stelmakh, G.D. Stelmakhovych, N.M. Shevchuk, V.V. Kolenchenko and other employees of the Department of General Geology of IFNTUNG were involved in the study of Starunia [1–3]. They were joined by paleontologists of the Natural History Museum of the Academy of Sciences of Ukraine (Lviv) D.M. Dragant and others.

In the 70–80 years of the XX century archaeologist of the Institute of Ukrainian Studies named after I. Krepyakevych of the Academy of Sciences of Ukraine

L.G. Matskevych together with archaeologists of the Ivano-Frankivsk Pedagogical Institute named after V. Stefanyk B.A. Vasylenko and I.T. Kochkin conducted excavations around Starunia. Several dozen sites of ancient man of the Late Paleolithic, Mesolithic and Neolithic epochs have been discovered [8–13].

It is worth mentioning that back in 1914 Professor M. Lomnitsky wrote about a hairy rhinoceros, and a fragment of a wooden spear with a pointed end was found nearby: The original hunters of these animals were the Cro-Magnons, who caught and drove their prey into the ozokerite trap of the salt lake.

In 1988–1989, the Ivano-Frankivsk Institute of Oil and Gas for the first time officially organized state budget research at the expense of funding from the Ministry of Education and Science of Ukraine on the Starunia mud volcano under the leadership of O.M. Adamenko. The direct executors of the topic were O.R. Stelmakh, L.M. Mykhalska, I.R. Mykhailyuk and other employees of the Department of General Geology (since 1989 – the theoretical foundations of geology).

The approaching date of the 100th anniversary (2007) of paleontological finds in Starunia led to the intensification of interdisciplinary research of this geological monument [2]. The monograph of the Krakow professor Stefan Alexandrovich "Starunia" was published [9], and the President of the Polish Society "Geosphere" the professor of the Krakow Mining and Metallurgical Academy named after S. Stashitsa Maciej Kotarba suggested to Professor Oleg Adamenko, who from 1974 to the present continued to study Starunia as an endogeodynamic landfill, to start joint research of all processes at this landfill.

In 2004, two Ukrainian-Polish expeditions were organized – the first in May and the second in October at the expense of budget funding from the Ministry of Education and Science of Poland.

The results of research of both expeditions were published in 2005 in the book "Polish and Ukrainian geological studies (2004–2005) at Starunia – the area of Discoveries of Wolly Rhinoceroses" edited by prof. M. Kotarba [12, 14].

In 2005 a scientific conference was held in Krakow, and in 2008 in Ivano-Frankivsk. They were dedicated to the 100th anniversary of paleontological finds with excursions to Starunia, with a broad discussion of the scientific results of the 2004–2005 expeditions and coverage in several collections of materials and media.

The next stage of Starunia's interdisciplinary research took place in 2006–2009, when under the leadership of Professors M. Kotarba and O. Adamenko it was possible to organize drilling of several dozen wells with 100 percent core yield for detailed study of Quaternary sediments. Geological-geomorphological, geochemical, geophysical researches also continued [2].

The results of these studies are published in the scientific collection "Interdisciplinary studies (2006–2009) at Starunia (Carpathian region, Ukraine) – the area of discoveries of Wolly Rhinoceroses" [12]. The main achievements are set out in 17 articles – [12].

An important result was the discovery of the most favourable area, where the remains of giant mammals and even Cro-Magnons of the Pleistocene could not be found at depth.

All the numerous interdisciplinary findings of Polish and Ukrainian scientists confirm the uniqueness of Starunia on a global scale; require the preservation and further study of paleontological finds and the only active mud volcano in the Carpathians. Such findings can be made only by organizing the Starunia Scientific Geodynamic Landfill Ecological and Tourist Center Geopark – UNESCO [15].

Presenting main material

To do this, you must perform the following tasks:

1. Mark the boundaries of the geological natural monument "Starunia" and Starun Scientific Geodynamic Landfill, where a geopark will be created under the auspices of UNESCO [15];

2. Creation and maintenance of the website "Starunia – on-line" [3, 4];

3. Installation in the village. Starunia of Bohorodchany district and Ivano-Frankivsk region, along the highways of Ivano-Frankivsk – Lviv, Ternopil, Uzhhorod, information stands, pylons, light boxes, models, models that will promote the tourist potential of the region [4, 12];

4. Generalization of existing materials for assessing the ecological status of environmental components on the geological monument of nature "Starunia" – geological environment, geodetic and geochemical fields, geomorphosphere, neotectonics and paleogeography [4, 12];

5. Field expeditionary researches on the territory of the geological natural monument "Starunia" of ecological condition of soil and vegetation covers, surface and spring waters, atmospheric air, and snowfalls with sampling;

6. Laboratory and analytical determination of the content of pollutants – heavy metals, cadmium, lead, copper, zinc and petroleum products, radioactive substances and excess mineral fertilizers and pesticides;

7. Ecological-techno-geochemical mapping and ecological zoning to assess the ecological condition and ecological safety of the monument "Starunia";

8. Substantiation of the international bus route from Poland to Ukraine – Krakow – Novoyavorivsk – Mariampol – Halych – Starunya – Bukovel [4];

9. Organization of children's, pupils 'and students' ecological schools for ecological education for kindergarten to university [4];

10. Development of feasibility study – feasibility study and technical specifications – terms of reference for the creation of a geopark of the Ice Age [15].

Discussion of the obtained results. In order to prove the suitability of additional research of the geological monument "Starunia" the possibility of raising its status to the UNESCO Geopark, it is necessary to compare the relevant requirements set out in the UNESCO document [15].

Conclusions

Expected results of the planned activities:

1. Protection of the world-famous geological natural monument "Starunia" – paleontological burial place of the ancient fauna of rhinos and mammoths and the only active mud volcano in the Carpathians;

2. Feasibility study (feasibility study) and terms of reference (TOR) to raise the category of nature reserves "Starunia" to the level of "geopark" of the Ice Age in accordance with the requirements of UNESCO;

3. Development of international tourism in the Carpathians and recreational attractiveness of Starunia, which will contribute to the socio-economic development of local communities;

4. Educational and upbringing activities on the basis of the geological monument of nature and the future geopark;

5. Ensuring scientific research of the natural heritage of Prykarpatyia and the geological monument of nature "Starunia" as one of the markers;
6. Global climate change;
7. Improving conditions for recreation and treatment of residents of the region.

REFERENCES

1. Adamenko, O.M. (2007). Starunia – the future Park of the Ice Age I. In: *Our future home – EcoEurope. The novel of life, science and love in 4 volumes*. (Vol. IV, pp. 105-183). Ivano-Frankivsk: Symphony forte.
2. Adamenko, O.M., Adamenko, Ya.O., Ambrozyak, M.V., Vekeryk, V.I., Gladun, J.D., Zorin, D.O. et al. (2008). Starunia – a unique geological monument of nature with fossil fauna of hairy rhinos and mammoths and manifestations of mud volcanism. In: *Natural and Historical Heritage of Starunia*. (pp. 9-12). Starunia – Lviv – Ivano-Frankivsk – Krakow: Akapit.
3. Adamenko, O.M., Mishchenko, L.V., Mosyuk, I.V., Stelmakh, O.R., Zorin, D.O., Prikhodko, M.M., & Radlovska, K.O. (2011). Starunia's geodynamic landfill – Park of the Ice Age I. *EB and 3R-2011*, 1 (3), 75-76.
4. Alexandrovich, Sh.V., Gladun, Ya.D., & Kulish, V.V. (2008). Starunia and the study of the Quaternary period in the tradition and initiatives of the Polish Academy of Sciences I. Ivano-Frankivsk.
5. Belous, N.X., & Klyarovskiy, V.M. (1987). Miracle-Starunia. In: *11 Geological monuments of Ukraine* (pp. 48-49). Kyiv: Naukova dumka.
6. Stelmakh, O.R., Kashchyshyn, O.K., Mosyuk, I.V., & Mishchenko, A.V. (2014). History of the study and collection of ores and artifacts of the geodynamic landfill "Starunia". *EB and CL*, 1(9), 49-52.
7. Adamenko, O.M., Krizhanivskiy, E.I., Vekeryk, V.I., Stelmach, O.P., Mishchenko, L.V., Zorina, N.O., Zorin, D.O. & Ambrozyak, M.V. (2005b). A concept of an international "Ice-Age Geopark" as an ecological-tourist center in Starunia former ozokerite mine, fore-Carpathian region, Ukraine. In: Kotarba M. J. (ed.), *Polish and Ukrainian geological studies (2004-2005) at Starunia – the area of discoveries of woolly rhinoceroses* (pp. 205-209). Warszawa-Kraków: Polish Geological Institute and Society of Research on Environmental Changes "Geosphere".
8. Adamenko, O.M. (2019). The Upper Pleistocene stratigraphy of the Starunya site as a "bridge" between the stratigraphical frameworks of Western Europe and the plain area of Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28(2), 213-220. doi: <https://doi.org/10.15421/111922>.
9. Alexandrowicz, S.W. (2004). *Starunia and the Quaternary research in the tradition and initiatives of the Polish Academy of Arts and Sciences*. Studia i materiały do dziejów Polskiej Akademii Umiejętności, 261 pp. (in Polish, English summary).
10. Bayger, J.A., Hoyer, H, Kiernik, E., Kulczyński, W., Łomnicki, M., Łomnicki, J., Mierzejewski, W., Niezabitowski, E., Raciborski, M., Szafer, W. & Schille, F. (1914). *Wykopaliska Staruńskie*. Muzeum im. Dzieduszyckich w Lwowie, 15: 386 pp.
11. Kotarba, M.J. (Ed.). (2005). *Polish and Ukrainian geological studies (2004-2005) at Starunia – the area of discoveries of woolly rhinoceroses*. Polish Geological Institute and Society of Research on Environmental Changes «Geosphere», Warszawa-Kraków: 218 pp.
12. Kotarba, M.J. (Ed.). (2009). Interdisciplinary studies (2006-2009) at Starunia (Carpathian region, Ukraine) – the area of discoveries of woolly rhinoceroses. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79(3), 217-480.
13. Matskevych, L.G. (2005). Archaeological sites in the Starunia area, fore-Carpathian region, Ukraine. In *Polish and Ukrainian geological studies (2004-2005) at Starunia – the area of discoveries of woolly rhinoceroses* (pp. 45-51).

14. Sokolowski, T., & Stachowicz-Rybka, R. (2009). Chronostratigraphy and changes of environment of Late Pleistocene and Holocene at Starunia palaeontological site and vicinity (Carpathian region, Ukraine). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79, 315-331.
15. UNESCO Geopark Program – a new initiative to promote a global network of geoparks safeguarding and developing selected areas having significant geological features. (1999). Hundred and fifty-sixty session. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Executive Board (pp. 1-4). Paris.

The article was received 28.04.2021 and was accepted after revision 02.07.2021

О.М. Адаменко, М. Котарба, К.О. Радловська, М.І. Мосюк, В.Г. Омельченко, С. Бебенек, В.Р. Хомин, Я. Матишкевич
«СТАРУНЯ»: ВІД ПАМ'ЯТКИ ПРИРОДИ ДО ГЕОПАРКУ ЛЬОДОВИКОВОГО ПЕРІОДУ

Анотація. Одним із природних чудес Прикарпаття є село Старуня – із забальзамованими в озокериті та добре збереженими тушами мамонтів та волохатих носорогів та діючим грязьовим вулканом, яке, безперечно, порадує нас новими дослідницькими відкриттями в галузі геології, палеонтології та археології. Не виключено, що тут разом з великими викопними ссавцями Льодовикового періоду могли зберегтися рештки мисливців на них – наших предків кроманьйонців. Це відкриття мало би, без найменшого перебільшення, міжнародний вимір.

Підготовка "Старуні" до включення до Всесвітньої мережі геопарків ЮНЕСКО спеціалістами Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) регламентується програмою ЮНЕСКО з геопарків.

Відповідно до цих вимог, щоб надати геологічній пам'ятці природи «Старуня» статус «геопарку», необхідно вивчити та дати стандартний опис усіх складових середовища: геологічного середовища та ендеогодинамічних процесів, рельєфу (геоморфосфери), небезпечних екзогеодинамічних процесів, гідро- та атмосфери, ґрунту та рослинного покриву, соціального середовища, техносфери та її антропогенних змін; оцінити поточну екологічну ситуацію та розробити заходи з охорони довкілля.

З метою подальшого вивчення "Старуні" в ІФНТУНГ розроблена Регіональна комплексна програма на 2022–2023 роки «Старуня: від пам'ятки природи до геопарку Льодовикового періоду», яку передано Івано-Франківській ОДА та обласній раді.

Таким чином, всесвітньо відома геологічна пам'ятка природи національного значення "Старуня" заслуговує на окрему національну програму та скорочення термінів її імплементації, що дозволило б включити "Старуню" до світової мережі геопарків ЮНЕСКО.

Ключові слова: програма; геологічна пам'ятка; геопарк; ендеогодинамічні процеси; фауна

Стаття надійшла до редакції 28.04.2021 і прийнята до друку після рецензування 02.07.2021

Адаменко Олег Максимович

доктор геолого-мінералогічних наук, професор кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID 0000-0003-0821-3011 **e-mail:** katolrad22@gmail.com

Котарба Мацей

професор, доктор наук, факультет геології, геофізики та охорони навколишнього середовища

Краківська гірничо-металургійна академія ім. С. Сташіца

Адреса робоча: 30-059 Краків, пров. Міцкевича 30, Польща

Радловська Катерина Олексіївна

кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2640-4735> **e-mail:** katolrad22@gmail.com

Мосюк Микола Іванович

кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID 0000-0002-9828-7331 **e-mail:** mosiuk@ukr.net

Омельченко Валерій Григорович

кандидат технічних наук, директор Інституту природничих наук та туризму Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

Бєбенек Славомір

доктор, факультет геології, геофізики та охорони навколишнього середовища

Краківська гірничо-металургійна академія ім. С. Сташіца

Адреса робоча: 30-059 Краків, пров. Міцкевича 30, Польща

e-mail: sbebenek@agh.edu.pl

Хомин Володимир Романович

доктор геологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної, інженерної геології та гідрогеології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

Матишкевич Яцек

професор, доктор наук, факультет геології, геофізики та охорони навколишнього середовища

Краківська гірничо-металургійна академія ім. С. Сташіца

Адреса робоча: 30-059 Краків, пров. Міцкевича 30, Польща

e-mail: jamat@agh.edu.pl

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

УДК 502/504 : 349.6

Victoria M. Mikheenko, PhD, Associate Professor
ORCID ID 0000-0001-7685-2507 *e-mail*: v.m.mikheenko@donnaba.edu.ua

Ivan G. Hevlych, PhD, Associate Professor
ORCID ID 0000-0003-2282-0512 *e-mail*: i.g.gevlich@donnaba.edu.ua

Taras I. Hevlych, student
ORCID ID 0000-0003-3387-1657 *e-mail*: t.gevlich@donnaba.edu.ua

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Kramatorsk, Ukraine

REGULATION OF FOOD WASTE MANAGEMENT IN UKRAINE AND ABROAD

Abstract. *In the world in general and in Ukraine in particular, there is a catastrophic environmental situation with food waste. The solution to the problem of waste accumulation, the organization of quality control of compliance with legislation in their treatment, the formation of environmental awareness of the population is hampered by the lack of unanimity in defining the essence of waste, industrial waste, waste in the regulatory framework and among scientists. The aim of the work is to study the essence of the definition of food waste in domestic and foreign scientific discussions and regulations in terms of improving the regulation of their treatment in Ukraine. Scientific discussion of domestic and foreign authors on the concept of waste, in particular food, as well as their regulations demonstrate a wide variety of not only definitions but also approaches. This takes into account the legal basis for waste operations, their physical condition and properties, environmental and economic characteristics, the criterion of goal setting, accounting approach and so on. The analysis of the existing classifications of waste stated the absence of a separate category of food waste both in the works of Ukrainian scientists and in domestic regulations, while foreign authors are actively researching this category. According to the results of the study, it is proposed to introduce into the domestic regulatory framework the term "loss of food and food waste" commonly used abroad with the following definition: products (substances) as edible parts of plants and animals produced or collected for human consumption but ultimately not consumed. Critical analysis of domestic environmental legislation in comparison with European allowed to propose the implementation of the Waste Framework Directive, as well as the formation of a hierarchy of waste management priorities: prevention, preparation for reuse, recycling, other types of disposal, elimination as Ukraine's European integration. Areas of further research will be the study of food waste disposal technologies of the modern city.*

Key words: *food loss; food waste; environmental legislation; implementation*

В.М. Міхєєнко, І.Г. Гєвлич, Т.І. Гєвлич

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Краматорськ, Україна

РЕГУЛЮВАННЯ ПОВОДЖЕННЯ З ХАРЧОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ ТА ЗА КОРДОНОМ

***Анотація.** У світі в цілому та Україні зокрема склалася катастрофічна екологічна ситуація з харчовими відходами. Вирішенню проблеми накопичення відходів, організації якісного контролю дотримання законодавства у поводженні з ними, формуванню екологічної свідомості населення заважає відсутність одностайності щодо визначення сутності понять відходів, промислових відходів, відходів виробництва у нормативній базі та серед науковців. Метою роботи є дослідження сутності дефініції харчових відходів у вітчизняній та закордонній науковій дискусії та нормативних документах з точки зору удосконалення регулювання поводження з ними в Україні. Наукова дискусія вітчизняних та закордонних авторів щодо поняття відходів, зокрема харчових, як і нормативні їх регламенти демонструють широке розмаїття не тільки визначень, а й підходів. При цьому приймаються до уваги правові засади здійснення операцій з відходами, їх фізичний стан і властивості, екологічні та економічні ознаки, критерій цілепокладання, обліковий підхід тощо. Аналіз існуючих класифікацій відходів констатував відсутність окремої категорії харчових відходів як у роботах українських науковців, так і у вітчизняних нормативних регламентах у той час, як закордонні автори активно досліджують дану категорію. За результатами дослідження запропоновано введення у вітчизняну нормативну базу загальнозживаного за кордоном терміну «втрата продовольства та харчові відходи» з таким визначенням: продукти (речовини) як їстівні частини рослин і тварин, які виробляються або збираються для споживання людиною, але в кінцевому рахунку не споживаються. Критичний аналіз вітчизняного екологічного законодавства у порівнянні із європейським дозволив запропонувати імплементацію Рамкової директиви про відходи, а також формування ієрархії пріоритетів поводження з відходами: запобігання, підготовка до повторного використання, переробка, інший тип утилізації, ліквідація, як напрям євроінтеграції України. Напрямами подальшого дослідження виступатиме вивчення технологій утилізації харчових відходів сучасного міста.*

***Ключові слова:** втрата продовольства; харчові відходи; екологічне законодавство; імплементація*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.51-68>

Вступ

Наша країна, стикаючись із проблемами утворення та утилізації харчових відходів, не поодинока. Незважаючи на локальні проблеми із продовольством, у світі склалася катастрофічна ситуація з даним видом відходів, розмір яких до 2030 р., за даними Boston Consulting Group, сягатиме 2,1 млрд тонн. На наш погляд, вирішенню екологічних проблем, пов'язаних із накопиченням відходів, організації якісного контролю дотримання законодавства у поводженні з ними, а також формуванню екологічної свідомості населення заважає відсутність одностайності щодо визначення сутності понять відходів, промислових відходів, відходів виробництва у нормативній базі та серед науковців.

Метою роботи є дослідження сутності дефініції харчових відходів у вітчизняній та закордонній науковій дискусії та нормативних документах з точки зору удосконалення регулювання поводження з ними в Україні.

Виклад результатів дослідження

Наукова дискусія вітчизняних та закордонних авторів щодо поняття відходів, зокрема харчових, як і нормативні їх регламенти демонструють широке розмаїття не тільки визначень, а й підходів.

Н.О. Корнякова [1] характеризує відходи як полівидове поняття, що може розглядатися з огляду на правові засади здійснення операцій з ними, фізичний стан і властивості, екологічні та економічні ознаки тощо. А.Д. Трусов і А.Н. Захаров [2] стверджують, що поняття відходів змінюється із впровадженням досягнень науково-технічного прогресу, В.І. Кержаков та О.М. Дериколенко ототожнюють відходи зі вторинними матеріальними ресурсами [3], а Н.І. Пилипів вважає, що сутність досліджуваного поняття змінюється залежно від специфіки діяльності підприємства, на якому відходи утворюються [4].

Визначення основних дефініцій щодо відходів у вітчизняній нормативній базі, а саме, у Законах України «Про відходи», «Про альтернативні види рідкого та газового палива», Державному Класифікаторі відходів, ДСТУ 2195-99 «Охорона природи. Поводження з відходами» та Наказі Держкоммістобудування «Про затвердження Методики обстеження й паспортизації гідротехнічних споруд» [5–9] представлені у табл. 1.

Як видно з табл. 1, основним визначальним критерієм виступає цілепокладання: відходи розглядаються як результат діяльності та мають своє призначення. Закон «Про відходи», Класифікатор відходів ДК 005-96, ДСТУ 2195-99 акцентують увагу на намірах або зобов'язаннях виробника відходів здійснити певні дії з відходами, але закон, як не дивно, не наголошує на екологічному аспекті небезпеки відходів для навколишнього середовища та здоров'я людей, а Класифікатор це робить. В.В. Пікінер у роботі [10] обґрунтовує важливість врахування екологічної складової при визначенні відходів як найбільш соціально спрямованої характеристики.

В. Пендак та О. Паславська на основі аналізу правового поняття відходів пропонують такі основні ознаки відходів:

- утворення в результаті людської діяльності, природних та техногенних катастроф;
- неможливість подальшого використання за місцем утворення чи виявлення;
- наявність власника, тобто належність відповідним особам (юридичним, фізичним, територіальним громадам, державі);
- наявність обов'язків власника позбутися відходів шляхом їх утилізації чи видалення;
- подвійна природа відходів: забруднююча речовина, що створює небезпеку навколишньому природному середовищу, та ресурс як джерело переробки [11].

Саме з урахуванням останньої ознаки В.В. Пікінер акцентує увагу на майбутніх економічних вигодах, що можуть бути отримані підприємствами, на яких утворюються певні види відходів, внаслідок:

- реалізації відходів іншим суб'єктам господарювання, які їх будуть використовувати як вторинну сировину або альтернативний вид палива;
- використання відходів для власних потреб (за умови забезпечення належних технологічних умов);
- державного стимулювання впровадження маловідходних та безвідходних технологій.

Таблиця 1 – Визначення поняття відходів у вітчизняній нормативній базі

| Нормативний документ | Сутність поняття |
|--|--|
| Закон України «Про відходи» | будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворилися у процесі виробництва чи споживання, а також товари (продукція), що повністю або частково втратили свої споживчі властивості і не мають подальшого використання за місцем їх утворення чи виявлення і від яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення |
| Закон України «Про альтернативні види рідкого та газового палива» | шлаки та відходи промисловості, сільського господарства, комунально-побутових та інших підприємств, які можуть бути джерелом або сировиною для видобутку чи виробництва альтернативних видів палива |
| Класифікатор відходів ДК 005-96 | будь-які речовини та предмети, утворювані у процесі виробництва та життєдіяльності людини, внаслідок техногенних чи природних катастроф, що не мають свого подальшого призначення за місцем утворення і підлягають видаленню чи переробці з метою забезпечення захисту навколишнього середовища і здоров'я людей або з метою повторного їх залучення у господарську діяльність як матеріально-сировинних і енергетичних ресурсів, а також послуги, пов'язані з відходами |
| ДСТУ 2195-99 «Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу» | речовини, матеріали і предмети, які утворюються в процесі людської діяльності, не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення та яких їхній власник позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення |
| Методика обстеження й паспортизації гідротехнічних споруд систем гідравлічного вилучення та складування промислових відходів | Непридатні для виробництва даної продукції види сировини, її залишки, що не вживаються, або речовини, які виникають в результаті технологічних процесів, які не підлягають утилізації у даному виробництві |

З урахуванням вищевикладеного дослідник пропонує виокремлювати обліковий підхід до визначення відходів на основі таких тверджень:

- створення відходів в результаті різних господарських процесів звичайної діяльності підприємств та внаслідок надзвичайних подій;

- врахування придатності чи непридатності їх подальшого використання при певних умовах організаційно-технічного забезпечення підприємства;
- зазначення правових аспектів поводження з відходами (законодавчі вимоги позбутися відходів, передати їх на утилізацію тощо);
- визнання відходів негативним фактором, що має суттєвий вплив на природне середовище, здоров'я і життя людей [10].

Організація ефективного управління відходами і саме розуміння їх сутності неможливе без обґрунтованої класифікації. Класифікатор ДК 005-96 пропонує такий поділ відходів на групи за різновидами:

1) залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів тощо, які утворені в процесі виробництва продукції або виконання робіт і втратили цілком або частково вихідні споживчі властивості (*відходи виробництва*);

2) розкриті і супутні гірничі породи, що видобуваються у процесі розроблення родовищ корисних копалин;

3) залишкові продукти збагачення та інших видів первинної обробки сировини (шлам, пил, відсів тощо);

4) новоутворені речовини та їх суміші, утворені в термічних, хімічних та інших процесах і які не є метою даного виробництва (шлак, зола, кубові залишки, інші тверді та пастоподібні утворення, а також рідини та аерозолі);

5) залишкові продукти сільськогосподарського виробництва (у т. ч. тваринництва), лісівництва і лісозаготівель;

6) бракована, некондиційна продукція усіх видів економічної діяльності або продукція, що забруднена небезпечними речовинами і не придатна до використання;

7) неідентифікована продукція, застосування (експлуатація) або вживання якої може спричинити непередбачені наслідки, у т. ч. мінеральні добрива, отрутохімікати, інші речовини;

8) зіпсовані (пошкоджені) і неремонтоздатні чи відпрацьовані, фізично або морально зношені вироби та матеріали, які втратили свої споживчі властивості (*відходи споживання*);

9) залишки продуктів харчування, побутових речей, пакувальних матеріалів тощо (*побутові відходи*);

10) осади очисних промислових споруд, споруд комунальних та інших служб;

11) залишки від медичного та ветеринарного обслуговування, медико-біологічної та хіміко-фармацевтичної промисловості, аптечної справи;

12) залишкові продукти усіх інших видів діяльності підприємств, установ, організацій і населення;

13) матеріальні об'єкти та субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені чинними нормами, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачається (*радіоактивні відходи*).

Разом з тим у Класифікаторі використовуються додаткові ознаки поділу відходів:

1) за видами економічної діяльності суб'єкта господарювання, де утворилися доходи;

2) за фазою процесу, на якій утворилися доходи;

3) за елементом процесу, від якого утворилися відходи.

Крім цього, промислові відходи можна класифікувати за такими ознаками:

- за галузями промисловості (відходи паливної, металургійної, хімічної та інших галузей);
- за конкретними виробництвами (відходи сіркокислотного, содового, фосфорокислотного та інших виробництв);
- за агрегатним станом (тверді, рідкі, газоподібні);
- за горінням (горючі та негорючі);
- за методами переробки;
- за можливостями переробки (вторинні матеріальні ресурси (ВМР), що переробляються або плануються надалі перероблятися, і відходи, що на даному етапі розвитку економіки переробляти недоцільно);
- за рівнем небезпеки (надзвичайно небезпечні, високонебезпечні, помірнебезпечні, малонебезпечні).

Харчові відходи, які є предметом дослідження у даній роботі, є побутовими. Загальноприйнята класифікація побутових відходів, озвучена у роботі [12], представлена у табл. 2.

Таблиця 2 – Класифікація побутових відходів

| Критерії оцінювання | Види побутових відходів |
|---------------------------|---|
| Агрегатний стан | Тверді Рідкі |
| Об'єм | Великогабаритні Малогабаритні |
| Рівень шкоди для довкілля | Безпечні Небезпечні |
| Сфера утворення | Сільськогосподарські Будівельні (ремонтні) Садово-дачного масиву Інші |
| Сфера надання послуг | Медична Пансіонати Готельно-ресторанний бізнес Військова |
| Джерело утворення | Житлові будинки: багатоквартирні; приватного сектору Будинки адміністративного призначення |

Як видно з табл. 2, дефініція харчових відходів не виділяється у науковій дискусії. На жаль, поняття харчових відходів відсутнє й у вітчизняних нормативних актах. Виходячи з розгляду сутності даної категорії, це харчові продукти, які повністю або частково втратили свої первинні споживчі властивості в процесах їх виробництва, переробки, застосування або зберігання. За джерелом виникнення, це залишки їжі людини та відходи кухонь, пекарень, підприємств харчової промисловості.

Харчові відходи розглядаються як частина побутових відходів і є однією з екологічних проблем суспільства споживання, яка широко досліджується зарубіжними науковцями. Так, Б. Ліпінський, К. Хансон, Дж. Ломакс, Л. Кітіноя, Р. Уейт та Т. Сьорчінгер у роботі [13] досліджують втрати продовольства та харчові відходи у глобальному вимірі та пропонують стратегії,

спрямовані на їх зменшення. У звіті «Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention» [14] Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (Food and Agriculture Organization, FAO) розкриває втрати, що виникають уздовж харчового ланцюга, оцінює їхню величину та визначає причини втрат харчової продукції та можливі способи їх запобігання. Звіт FAO «Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction Food and Agriculture Organization of the United Nations» [15] присвячений стратегії зменшення обсягів втрати продовольства та харчових відходів у глобалізованому світі.

К. Хансон та П. Мітчел у роботі [16] визначають стратегічні нефінансові мотиватори зменшення обсягів втрат продуктів харчування та відходів. Тімоті Дж. Річардс та Стівен Ф. Гамільтон у роботі [17] досліджують потенціал комерційних однорангових систем мутуалізації (CPMS) або фірм спільної економіки як ринкових платформ обміну надлишковими продуктами харчування і, як наслідок, скорочення харчових відходів. Калліопі Милона, Петрос Марагкудакіс, Ладіслав Міко, Анн-Катрін Бок, Ян Воллгаст, Сандра Калдейра, Франц Улберт у роботі [18] представили результати дослідження харчової політики ЄС до 2050 року з точки зору потенційних майбутніх викликів, зокрема, щодо збільшення виробництва продуктів харчування при використанні меншої кількості ресурсів та зменшення харчових відходів при забезпеченні харчової безпеки. Альберто Зецца, Калоджеро Карлетто, Джон Л. Фідлер, П'єтро Дженнарі та Дін Джолліфф у роботі [19] запропонували методологічні підходи національних опитувань домогосподарств, зокрема, стосовно харчування та поводження з харчовими відходами.

Виходячи з аналізу вищезазначених досліджень, відсутності визначення харчових відходів в українських нормативних документах та важливості проблеми харчової безпеки, є доцільним введення у вітчизняну нормативну базу загальнозживаного за кордоном терміну «втрата продовольства та харчові відходи» («Food loss and waste»), який визначається таким чином: продукти (речовини) як їстівні частини рослин і тварин, які виробляються або збираються для споживання людиною, але в кінцевому рахунку не споживаються. Втрата продовольства – це непередбачений результат сільськогосподарського процесу або зберігання, транспортування, упаковки продуктів, що спричинив втрату або псування продуктів (аномальне зниження їх якості). Харчові відходи – це продукти, які є якісними та придатними для споживання людиною, але не споживаються до або після аномального зниження їх якості. Харчові відходи є результатом недбалості або свідомого рішення викинути продукти.

Для розрахунку втрат продовольства та харчових відходів в Україні О. Котикова, М. Бабич та О. Погорелова пропонують використовувати методику FAO (рис. 1) [20], де $A + B + C - D = E - (F + G + H + I) = J = K + L$.

Таким чином, за результатами дослідження сутності поняття відходів та харчових відходів у національному законодавстві та науковій дискусії констатована відсутність визначеного поняття харчових відходів в українському законодавстві та неоднозначність трактування дефініції «відходи» у різних нормативних документах та дослідженнях науковців. Це утруднює ефективне управління відходами та потребує корекції на національному рівні. Запропоновано введення до вжитку поняття «втрата продовольства та харчові відходи» («Food loss and waste»), яке широко

використовується за кордоном, зокрема, Продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН (FAO).

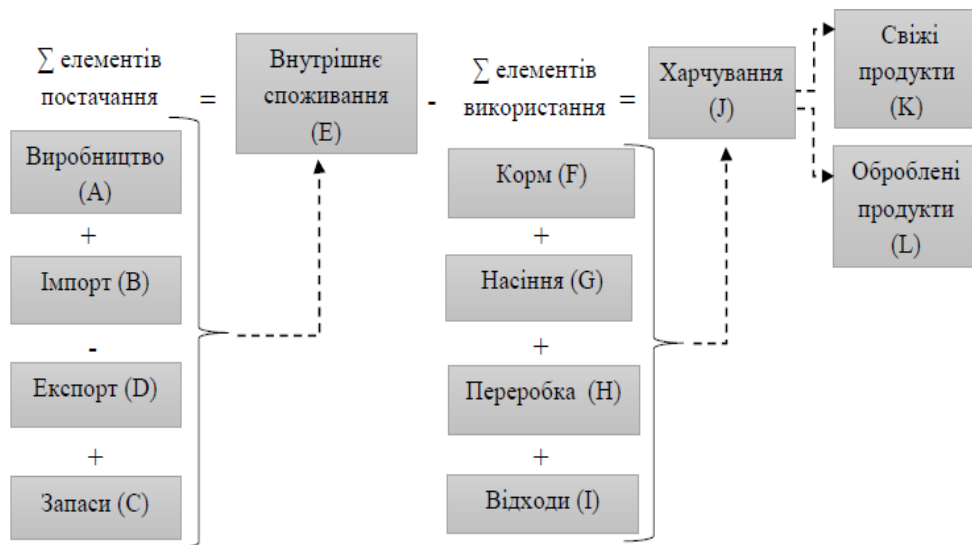


Рис. 1 – Методика розрахунку втрат продовольства та харчових відходів за ФАО

В Україні поводження з відходами регламентовано законами «Про відходи», «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про поводження з радіоактивними відходами», «Про металобрухт», «Про житлово-комунальні послуги», «Про хімічні джерела струму», «Про ветеринарну медицину», «Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції», Кодексом України про надра, іншими нормативно-правовими актами [5, 21–29].

Основними принципами державної політики у сфері поводження з відходами є:

- пріоритетний захист навколишнього природного середовища та здоров'я людини від негативного впливу відходів;
- забезпечення ощадливого використання матеріально-сировинних та енергетичних ресурсів;
- науково обґрунтоване узгодження екологічних, економічних та соціальних інтересів суспільства щодо утворення та використання відходів з метою забезпечення його сталого розвитку.

Основні завдання та напрями державної політики щодо відходів в Україні представлені у табл. 3.

У сфері поводження з відходами міністерствами, іншими центральними органами виконавчої влади, підприємствами, установами та організаціями за погодженням із уповноваженими органами виконавчої влади з питань охорони навколишнього природного середовища встановлюються граничні показники утворення відходів у технологічних процесах, питомі показники утворення відходів, використання та втрат сировини у технологічних процесах, інші нормативи, передбачені законодавством.

Таблиця 3 – Завдання та напрями державної політики щодо відходів в Україні

| Завдання | Напрями |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - визначення основних принципів державної політики у сфері поводження з відходами; - правове регулювання відносин щодо діяльності у сфері поводження з відходами; - визначення основних умов, вимог і правил щодо екологічно безпечного поводження з відходами, а також системи заходів, пов'язаних з організаційно-економічним стимулюванням ресурсозбереження; - забезпечення мінімального утворення відходів, розширення їх використання у господарській діяльності, запобігання шкідливому впливу відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини | <ul style="list-style-type: none"> - забезпечення повного збирання і своєчасного знешкодження та видалення відходів, дотримання правил екологічної безпеки при поводженні з ними; - зведення до мінімуму утворення відходів та зменшення їх небезпечності; - забезпечення комплексного використання матеріально-сировинних ресурсів; - сприяння максимально можливій утилізації відходів шляхом прямого повторного чи альтернативного використання ресурсно-цінних відходів; - забезпечення безпечного видалення відходів, що не підлягають утилізації, шляхом розроблення відповідних технологій, екологічно безпечних методів та засобів поводження з відходами; - організація контролю за місцями чи об'єктами розміщення відходів для запобігання шкідливому впливу їх на навколишнє природне середовище та здоров'я людини; - здійснення комплексу науково-технічних та маркетингових досліджень для виявлення і визначення ресурсної цінності відходів з метою їх ефективного використання; - сприяння створенню об'єктів поводження з відходами; - забезпечення соціального захисту працівників, зайнятих у сфері поводження з відходами; - обов'язковий облік відходів на основі їх класифікації та паспортизації; - створення умов для реалізації роздільного збирання побутових відходів шляхом запровадження соціально-економічних механізмів, спрямованих на заохочення утворювачів цих відходів до їх роздільного збирання; - сприяння залученню недержавних інвестицій та інших позабюджетних джерел фінансування у сферу поводження з відходами. |

Закон «Про відходи» [5] встановлює права та обов'язки юридичних та фізичних осіб щодо поводження із відходами. Законодавство також вимагає розробки заходів і вимог щодо запобігання або зменшення утворення відходів та екологічно безпечного поводження з ними, зокрема:

– розроблення та впровадження науково обґрунтованих нормативів утворення відходів на одиницю продукції (сировини та енергії), виконання робіт і надання послуг, що регламентують їх кількісний та якісний склад, відповідно до передових технологічних досягнень;

– періодичний перегляд встановлених нормативів утворення відходів, спрямований на зменшення їх обсягів, з урахуванням передового вітчизняного і зарубіжного досвіду та економічних можливостей;

– розроблення та впровадження системи поводження з пакувальними матеріалами і тарою; системи збирання, видалення, знешкодження та утилізації відпрацьованих мастил (олив); системи збирання, заготівлі та утилізації зношених шин, резинотехнічних виробів та відходів резинотехнічного виробництва; системи заготівлі та утилізації непридатних до використання транспортних засобів; системи збирання та утилізації електричного та електронного обладнання; системи збирання, видалення, знешкодження, утилізації відходів, що утворюються у процесі медичного обслуговування, ветеринарної практики, пов'язаних з ними дослідних робіт;

– розроблення загальних вимог щодо поводження з побутовими відходами;

– розроблення системи інформаційного, науково-методичного забезпечення виробників відходів відомостями про технологічні та інші можливості зменшення обсягів утворення та утилізації відходів.

З метою обмеження та запобігання негативному впливу відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини забороняється:

– провадити будь-яку господарську діяльність, пов'язану з утворенням відходів, без одержання від місцевих органів виконавчої влади дозволу на здійснення операцій у сфері поводження з відходами відповідно до вимог цього Закону;

– використовувати результати наукових досліджень, впроваджувати в практику винаходи, застосовувати нову техніку, імпортне устаткування, технології та системи, якщо вони не передбачають запобігання чи мінімізацію обсягів утворення відходів на всіх стадіях технологічного процесу, їх утилізацію та безпечне видалення;

– визначати місця розміщення підприємств, установок, полігонів, комплексів, сховищ та інших об'єктів поводження з відходами, проектувати та будувати регіональні і міжрегіональні комплекси оброблення, знешкодження, утилізації та видалення відходів, якщо вони не відповідають екологічним та санітарно-гігієнічним вимогам;

– приймати рішення про розміщення і розвиток міст та інших населених пунктів без визначення технічних та інших заходів щодо створення умов для утилізації чи видалення побутових відходів;

– вводити в дію нові і реконструйовані підприємства та інші об'єкти, не забезпечені устаткуванням і технологіями для безпечного поводження з відходами, та в разі відсутності даних, необхідних для оцінки їх впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я людини, згідно з установленим порядком;

– передавати чи продавати небезпечні відходи громадянам, підприємствам, установам та організаціям, якщо вони не забезпечують утилізації чи видалення цих відходів екологічно безпечним способом;

– залучати дітей і підлітків до організованого збирання відходів (як вторинної сировини), небезпечних для здоров'я;

– порушувати строки переробки відходів, ввезених в Україну відповідно до встановлених квотами умов;

- порушувати встановлені квоти на ввезення в Україну відходів як вторинної сировини;
- ввезення в Україну, за винятком транзитного перевезення, будь-яких відходів з метою їх зберігання чи видалення;
- з 1 січня 2018 року захоронення неперероблених (необроблених) побутових відходів.

Контроль у сфері поводження з відходами здійснюють центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику із здійснення державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів, центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері санітарного та епідемічного благополуччя населення, місцеві державні адміністрації, виконавчі органи сільських, селищних, міських рад, громадські інспектори з благоустрою населених пунктів.

В Україні здійснюються заходи щодо забезпечення утилізації відходів і зменшення обсягів їх утворення, зокрема:

- встановлення ставок екологічного податку, що справляється за розміщення відходів, із диференціацією залежно від рівня небезпеки відходів та цінності території;
- надання суб'єктам підприємницької діяльності, які утилізують, зменшують обсяги утворення відходів та впроваджують у виробництво маловідходні технології, відповідно до законодавства податкових, кредитних та інших пільг;
- надання в установленому законодавством порядку податкових, кредитних та інших пільг суб'єктам підприємницької діяльності, які здають відходи як вторинну сировину та займаються збиранням і заготівлею таких відходів;
- визначення пріоритетів щодо фінансування за державним контрактом підприємств, що впроваджують маловідходні технології, обробляють і утилізують відходи;
- перегляд переліку відходів, щодо яких з урахуванням державних інтересів повинен установлюватися спеціальний режим стимулювання їх збирання, заготівлі та використання;
- цільове фінансування науково-дослідних робіт з конкретних проблем утилізації відходів і зменшення їх утворення;
- створення фондів для цільового фінансування заходів щодо утилізації відходів за рахунок добровільних внесків виробників відходів, їх власників, вітчизняних та іноземних суб'єктів господарської діяльності, окремих громадян, екологічного страхування тощо;
- формування державного банку даних щодо впроваджених в Україні технологій утилізації відходів;
- стимулювання споживачів до роздільного збирання відходів шляхом виключення з плати за послугу поводження з побутовими відходами вартості операцій з поводження з роздільно зібраними (відсортованими) корисними компонентами цих відходів.

З метою стимулювання заходів щодо утилізації відходів та зменшення обсягів їх утворення суб'єктам господарської діяльності, які впроваджують технології, спрямовані на зменшення обсягів утворення відходів, утилізують відходи в процесі виробництва продукції (виконання робіт, надання послуг),

здійснюють їх збирання і заготівлю, будівництво підприємств і цехів, а також організують виробництво устаткування для утилізації відходів, беруть пайову участь у фінансуванні заходів щодо утилізації відходів та зменшення обсягів їх утворення, можуть надаватися відповідно до закону України:

- пільги щодо оподаткування прибутку від реалізації продукції, виготовленої з використанням відходів;
- пріоритетне державне кредитування;
- спеціальні державні субсидії на зменшення відсотків за банківські кредити, пов'язані з інвестиціями, що спрямовуються на утилізацію відходів і виготовлення відповідного устаткування;
- дотації з Державного бюджету України і місцевих бюджетів для перевезення відходів (вторинної сировини) чи напівфабрикатів, одержаних з цих відходів;
- інформація щодо технологічних можливостей утилізації відходів;
- дотації з фондів охорони навколишнього природного середовища та інших джерел;
- пільги щодо поповнення обігових коштів підприємств, установ та організацій – суб'єктів господарської діяльності, що здійснюють збирання і заготівлю, оброблення (перероблення) і утилізацію відходів як вторинної сировини, за умови цільового використання цих коштів для придбання та переробки таких відходів.

Що стосується закордонного досвіду, керівні принципи ЄС у сфері охорони навколишнього середовища, зокрема, поводження із відходами, викладені в директивах: Рамкова Директива про відходи 2008/98/ЄС; Директива про небезпечні відходи 91/689/ЄС; Директива про всеохоплююче забруднення та його контроль 96/61/ЄС; Директива про спалювання відходів 2000/76/ЄС; Директива про захоронення відходів 1999/31/ЄС.

Рамкова Директива про відходи передбачає запровадження чіткої ієрархії пріоритетів поводження з відходами: 1) запобігання; 2) підготовка до повторного використання; 3) переробка; 4) інший тип утилізації, наприклад – для відновлення енергії; 5) ліквідація (видалення на звалища).

Заходи із запобігання утворенню відходів мають на меті розірвати зв'язок між економічним зростанням та екологічними наслідками. Такими заходами є економічні стимули (пільги, спеціальне оподаткування або що), проведення освітніх кампаній. Сенс підготовки до повторного використання полягає у заходах, які продовжують життя тих чи інших речей та дозволяють використовувати таку річ більше одного разу після її виготовлення. Переробка таких відходів дозволяє економити сировину, зменшувати негативний вплив на довкілля як шляхом економії сировини, так і зменшення кількості відходів, які захоронюються на звалищах. Якщо переробка і компостування відходів є недоцільними з технічних та економічних причин, в такому разі варто утилізувати сміття (в т.ч. шляхом відновлення енергії). Видалення (ліквідація) сміття на звалища – це останній спосіб поводження з відходами, і застосовуватися він має тоді, коли попередні способи вичерпано [30].

Директива вимагає встановити витрати таким чином, щоб відображати реальні природоохоронні витрати, пов'язані з утворенням та поводженням з відходами. Тому має бути також впроваджений принцип «забруднювач платить», що зобов'язує виробника та утримувача відходів поводитися

з відходами таким чином, щоб гарантувати високий рівень захисту довкілля та здоров'я людини.

Одним з механізмів впровадження цього принципу є розширена відповідальність виробника. Це означає, що виробник несе відповідальність за переробку та утилізацію своєї продукції після її споживання. Такий підхід запровадили на початку 1990-х років деякі країни теперішнього Європейського Союзу – Німеччина, Швеція, Франція. Згодом це було визнано як найкращий принцип та впроваджено на рівні ЄС. На сьогодні таким принципом керується більшість країн світу, його впроваджують також в Азії та Африці. Впровадження цієї моделі, зазвичай, має дві основні мети: перша полягає у збільшенні ставки збору і переробки вторинної сировини; друга – в тому, щоб перекласти фінансову відповідальність з громадян та державних органів і тим самим стимулювати екологізацію виробів, зниження їх негативного впливу на довкілля.

Директива містить вимогу щодо складання Планів управління відходами та Програм запобігання утворенню відходів. Так, основою будь-якого управління має бути якісне планування. Плани мають покривати всю територію країни, вони поділяються на державні, регіональні і місцеві. Плани управління відходами мають бути спрямовані на досягнення сталого управління відходами, дотримання принципів управління відходами та містити чіткий аналіз потоків відходів і напрями управління ними, конкретні цілі.

Оскільки Європейський Союз надає велике значення саме запобіганню утворення відходів, в деяких країнах розробляються Програми запобігання утворенню відходів або ж питання запобігання утворенню відходів може бути включено до розділів Плану поводження з відходами. Програми із запобігання утворенню відходів повинні встановлювати цілі із запобігання утворенню відходів, мають містити опис існуючих заходів із запобігання утворенню відходів та запропонувати інші відповідні заходи, визначити відповідні кількісні чи якісні критерії для заходів із запобігання утворенню відходів, вжитих з метою здійснення контролю та оцінки прогресу заходів, та можуть визначити конкретні якісні або кількісні цілі і показники.

Директива зобов'язує вжити заходів, щоб сприяти високій якості перероблення та з цієї метою запровадити роздільне збирання відходів, найважливіші для таких категорій відходів, як: папір, метал, пластик та скло.

Директива запроваджує Єдину в ЄС класифікацію відходів, в тому числі небезпечних, та вимагає вжити заходів, щоб виробництво, збирання, перевезення небезпечних відходів, так само як їх зберігання та оброблення, проводилися в умовах, що забезпечують захист довкілля та здоров'я людей, включаючи забезпечення можливості простежити від виробництва до кінцевого призначення і контролю небезпечних відходів. Забороняється змішування небезпечних відходів з іншими відходами, виключення можуть застосовуватись лише щодо визначених випадків. Під час збирання, перевезення та тимчасового зберігання небезпечні відходи мають бути спакзовані та маркуватися відповідно до міжнародних стандартів та чинних стандартів Співтовариства. Коли небезпечні відходи переміщуються в межах держави-члена, вони повинні супроводжуватися ідентифікаційними документами, які можуть бути представлені в електронному вигляді та повинні містити належні дані, зазначені в Додатку ІВ до Регламенту (ЄС) № 1013/2006.

Експлуатація підприємств, які займаються обробленням відходів, можлива лише на підставі дозволу. Такі дозволи мають містити види та кількість відходів, які можуть бути оброблені, для кожного з дозволених видів операцій – технічні чи інші вимоги стосовно місця розташування, що розглядається, заходи безпеки, що слід застосувати, методи, що використовуються для кожного виду операцій, перевірка та контроль, що необхідно здійснювати тощо. Передумовою для отримання дозволу на спалювання або сумісне спалювання з утилізацією енергії, встановлена вимога, щоб відновлення енергії відбувалося на високому рівні енергоефективності. Якщо повноважний орган вважає, що запланований метод оброблення неприйнятний з точки зору захисту довкілля, він може відмовити у видачі дозволу. Установи чи підприємства, які проводять операції з оброблення відходів, установи чи підприємства, які збирають або перевозять відходи на професійній основі, установи чи підприємства, які продукують небезпечні відходи, повинні проходити належну періодичну перевірку, що проводять повноважні органи.

Таким чином, за результатами дослідження виявлено, що поводження з відходами, у тому числі харчовими, в Україні регламентується низкою законів, зокрема законом «Про відходи», який встановлює правові, організаційні та економічні засади діяльності, пов'язаної із запобіганням або зменшенням обсягів утворення відходів, їх збиранням, перевезенням, зберіганням, сортуванням, обробленням, утилізацією та видаленням, знешкодженням та захороненням, а також з відверненням негативного впливу відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини на території України. Основою регламентації поводження з відходами в країнах ЄС є низка директив, основною з яких є Директива № 2008/98/ЄС про відходи (Рамкова директива про відходи), основною метою якої є встановлення системи управління відходами, що максимально зменшить негативний вплив на здоров'я людини та довкілля й забезпечить збереження природних ресурсів, а також чітко регламентує питання утворення та поводження із відходами. Імплементация європейського законодавства, а також формування ієрархії пріоритетів поводження з відходами: запобігання, підготовка до повторного використання, переробка, інший тип утилізації, ліквідація, – є напрямом євроінтеграції України.

Висновки

За результатами дослідження констатована відсутність визначеного поняття харчових відходів в українському законодавстві, що утруднює ефективне управління відходами. Запропоновано введення до вжитку поняття «втрата продовольства та харчові відходи» («Food loss and waste»), яке використовується, зокрема, Продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН (FAO). Наголошено на необхідності імплементации європейського законодавства, зокрема Рамкової директиви про відходи, та формування п'ятирівневої ієрархії пріоритетів поводження з відходами як напрямку євроінтеграції України.

Напрямами подальшого дослідження виступатиме вивчення технологій утилізації харчових відходів сучасного міста.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Корнякова Н.О. Поняття відходів за законодавством України та Європейського Союзу: порівняльно-правовий аналіз. *Право України*. 2004. № 5. С. 149-153.
2. Трусов А.Д., Захаров А.Н. Комплексное использование сырьевых ресурсов: пути повышения экономической эффективности в условиях НТП. М.: Экономика, 1986. 110 с.
3. Дериколенко О.М., Кержаков В.І. Економіка використання вторинних матеріальних ресурсів. К.: 1986. 224 с.
4. Пилипів Н.І., Максимів Ю.В. Економічна сутність та класифікація відходів для відображення їх в обліку на деревообробних підприємствах. *Вісник ЖДТУ*. № 3 (53). 2010. С. 201-205.
5. Про відходи: Закон України від 05.03.1998 р. № 187/98 – ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80#Text>.
6. Про альтернативні види рідкого та газового палива: Закон України від 14.01.2000 р. № 187/98 – ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text>.
7. Класифікатор відходів ДК 005-96: наказ Держстандарту України від 29.02.1996 р. № 89. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0089217-96#Text>.
8. ДСТУ 2195-99 «Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу»: наказ Держстандарту України від 08.09.1999 р. № 167. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=51481.
9. Методика обстеження й паспортизації гідротехнічних споруд систем гідравлічного вилучення та складування промислових відходів: Наказ Держкоммістобудування від 19.12.1995 р. № 252. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0466-95#Text>.
10. Пікінер В.В. Поняття “відходи”: правовий, економічний та обліковий підходи. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3014/45.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
11. Пендак В., Паславська О.Я. Побутові відходи – загроза екологічної безпеки людства. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/19836/1/73-76.pdf>.
12. Довга Т.М. Класифікація побутових відходів як передумова ефективності їх рециклінгу в Україні. *Економічний часопис-XXI*. 2011. № 5-6. С. 50-53.
13. Lipinski B., Hanson C., Lomax J., Kitinoja L., Waite R., Searchinger T. Reducing food loss and waste. Working paper, installment 2 of «Creating a sustainable food future». Washington: World resources institute, 2013. 40 p. URL: https://files.wri.org/s3fs-public/reducing_food_loss_and_waste.pdf.
14. Global food losses and food waste – extent, causes and prevention. Rome: FAO, 2011. 37 p. URL: <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>.
15. Global initiative on food loss and waste reduction. Rome: FAO, 2015. 8 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i4068e.pdf>.
16. Hanson C., Mitchell P. The business case for reducing food loss and waste. A report on behalf of Champions 12.3. 2017. URL: http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Report_The%20Business%20Case%20for%20Reducing%20Food%20Loss%20and%20Waste.pdf.
17. Richards T. J., Hamilton S. F. Food waste in the sharing economy. *Food Policy*. 2018. Vol. 75. Pp. 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.01.008>.
18. Mylona K., Maragkoudakis P., Miko L., Bock A.-K., Wollgast J., Caldeira S., Ulberth F. Future of food safety and nutrition – seeking win-wins, coping with trade-offs. *Food Policy*. 2018. Vol. 74. Pp. 143–146. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.12.002>.
19. Zezza A., Carletto C., Fiedler J. L., Gennari P., Jolliffe D. Food counts. Measuring food consumption and expenditures in household consumption and expenditure surveys (HCES). Introduction to the special issue. *Food Policy*. 2017. Vol. 72. Pp. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.08.007>.
20. Котикова О., Бабич М., Погорелова О. Втрати продовольства та харчові відходи в ланцюзі створення вартості продовольства в Україні. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2020. Vol. 6. No. 3. С. 191-220.

21. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення: Закон України від 24.02.1994 р. № 4004-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text>.
22. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.
23. Про поводження з радіоактивними відходами: Закон України від 30.06.1995 р. № 255/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/255/95-%D0%B2%D1%80#Text>.
24. Про металобрухт: Закон України від 05.05.1999 р. № 619-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/619-14#Text>.
25. Про житлово-комунальні послуги: Закон України від 09.11.2017 р. № 2189-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2189-19#Text>.
26. Про хімічні джерела струму: Закон України від 23.02.2006 р. № 3503-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3503-15#Text>.
27. Про ветеринарну медицину: Закон України від 25.06.1992 р. № 2498-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2498-12#Text>.
28. Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції: Закон України від 14.01.2000 р. № 1393-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1393-14#Text>.
29. Кодекс України про надра від 27.07.1994 р. № 132/94-ВР URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text>.
30. Директива № 2008/98/ЄС про відходи (Рамкова директива про відходи). URL: <http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2019/09/Ramkova-dyrektyva-presreliz.pdf>.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2021 і прийнята до друку після рецензування 30.06.2021

REFERENCES

1. Korniakova, N.O. (2004). Poniattia vidkhodiv za zakonodavstvom Ukrainy ta Yevropeiskoho Soiuzu: porivnialno-pravovyi analiz. *Pravo Ukrainy*, 5, 149-153 [in Ukrainian].
2. Trusov, A.D., & Zakharov, A.N. (1986). Kompleksnoye ispolzovaniye syryevykh resursov: puti povysheniya ekonomicheskoy effektivnosti v usloviyakh NTP. Moscow: Ekonomika [in Russian].
3. Derykolenko, O.M., & Kerzhakov, V.I. (1986). Ekonomika vykorystannia vtorynykh materialnykh resursiv. Kyiv [in Ukrainian].
4. Pylypiv, N.I., & Maksymiv, Yu.V. (2010). Ekonomichna sutnist ta klasyfikatsiia vidkhodiv dlia vidobrazhennia yikh v obliku na derevoobrobnykh pidpriemstvakh. *Visnyk ZhDTU*, 3 (53), 201-205 [in Ukrainian].
5. Pro vidkhody: Zakon Ukrainy vid 05.03.1998. № 187/98 – VR. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80#Text> [in Ukrainian].
6. Pro alternatyvni vydy ridkoho ta hazovoho palyva: Zakon Ukrainy vid 14.01.2000. № 187/98 – VR. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text> [in Ukrainian].
7. Klasyfikator vidkhodiv DK 005-96: nakaz Derzhstandartu Ukrainy vid 29.02.1996. № 89. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0089217-96#Text> [in Ukrainian].
8. DSTU 2195-99 «Okhorona pryrody. Povodzhennia z vidkhodamy. Tekhnichniy pasport vidkhodu»: nakaz Derzhstandartu Ukrainy vid 08.09.1999. № 167. Retrieved from: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=51481 [in Ukrainian].
9. Metodyka obstezhennia y pasportyzatsii hidrotekhnichnykh sporud system hidravlichnoho vyluchennia ta skladuvannia promyslovykh vidkhodiv: Nakaz Derzhkommistobuduvannia vid 19.12.1995 № 252. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0466-95#Text> [in Ukrainian].

10. Pikiner, V.V. (n.d.). Poniattia "vidkhody": pravovyi, ekonomichni ta oblikovyi pidkhody. Retrieved from: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3014/45.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [in Ukrainian].
11. Pendak, V., & Paslavskya, O.Ia. (n.d.). Pobutovi vidkhody – zahroza ekolohichnoi bezpeky liudstva. Retrieved from: <http://dSPACE.wunu.edu.ua/bitstream/316497/19836/1/73-76.pdf> [in Ukrainian].
12. Dovha, T.M. (2011). Klasyfikatsiia pobutovykh vidkhodiv yak peredumova efektyvnosti yikh retsyklinhu v Ukraini. *Ekonomichni chasopys-KhKhI*, 5-6, 50-53 [in Ukrainian].
13. Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R., & Searchinger, T. (2013). Reducing food loss and waste. *Working paper, installment 2 of «Creating a sustainable food future»*. Washington: World resources institute. Retrieved from: https://files.wri.org/s3fs-public/reducing_food_loss_and_waste.pdf.
14. Global food losses and food waste – extent, causes and prevention (2011). Rome: FAO. Retrieved from: <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>.
15. Global initiative on food loss and waste reduction (2015). Rome: FAO. Retrieved from: <http://www.fao.org/3/a-i4068e.pdf>.
16. Hanson, C., & Mitchell, P. (2017). The business case for reducing food loss and waste. A report on behalf of Champions 12.3. Retrieved from: http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Report_The%20Business%20Case%20for%20Reducing%20Food%20Loss%20and%20Waste.pdf.
17. Richards, T.J., Hamilton, S.F. (2018). Food waste in the sharing economy. *Food Policy*, 75, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.01.008>.
18. Mylona, K., Maragkoudakis, P., Miko, L., Bock, A.-K., Wollgast, J., Caldeira, S., & Ulberth, F. (2018). Future of food safety and nutrition – seeking win-wins, coping with trade-offs. *Food Policy*, 74, 143-146. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.12.002>.
19. Zezza, A., Carletto, C., Fiedler, J. L., Gennari, P., & Jolliffe, D. (2017). Food counts. Measuring food consumption and expenditures in household consumption and expenditure surveys (HCES). Introduction to the special issue. *Food Policy*, 72, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.08.007>.
20. Kotykova, O., Babych, M., & Pohorielova, O. (2020). Vtraty prodovolstva ta kharchovi vidkhody v lantsiuzi stvorennia vartosti prodovolstva v Ukraini. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 3, 191-220 [in Ukrainian].
21. Pro zabezpechennia sanitarnoho ta epidemichnogo blahopoluchchia naselennia: Zakon Ukrainy vid 24.02.1994. № 4004-XII. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text> [in Ukrainian].
22. Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha: Zakon Ukrainy vid 25.06.1991. № 1264-XII. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> [in Ukrainian].
23. Pro povodzhennia z radioaktyvnymy vidkhodamy: Zakon Ukrainy vid 30.06.1995. № 255/95-VR. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/255/95-%D0%B2%D1%80#Text> [in Ukrainian].
24. Pro metalobrukht: Zakon Ukrainy vid 05.05.1999. № 619-XIV. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/619-14#Text> [in Ukrainian].
25. Pro zhytlovo-komunalni posluhy: Zakon Ukrainy vid 09.11.2017. № 2189-VIII. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2189-19#Text> [in Ukrainian].
26. Pro khimichni dzhherela strumu: Zakon Ukrainy vid 23.02.2006. № 3503-IV. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3503-15#Text> [in Ukrainian].
27. Pro veterynarnu medytsynu: Zakon Ukrainy vid 25.06.1992. № 2498-XII. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2498-12#Text> [in Ukrainian].
28. Pro vyluchennia z obihu, pererobku, utylizatsiiu, znyshchennia abo podalshe vykorystannia neiakisnoi ta nebezpechnoi produktsii: Zakon Ukrainy vid 14.01.2000. № 1393-XIV. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1393-14#Text> [in Ukrainian].

29. Kodeks Ukrainy pro nadra vid 27.07.1994. № 132/94-VR Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text> [in Ukrainian].

30. Dyrektyva № 2008/98/ES pro vidkhody (Ramkova dyrektyva pro vidkhody). Retrieved from: <http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2019/09/Ramkova-dyrektyva-presreliz.pdf> [in Ukrainian].

The article was received 12.03.2021 and was accepted after revision 30.06.2021

Міхєєнко Вікторія Михайлівна

кандидат хімічних наук, доцент кафедри прикладної екології, хімії і охорони праці Донбаської національної академії будівництва і архітектури

Адреса робоча: 84333 Україна, м. Краматорськ, вул. Героїв Небесної Сотні, 14

ORCID ID 0000-0001-7685-2507 **e-mail:** v.m.mikheenko@donnaba.edu.ua

Гєвлич Іван Геннадійович

кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазоводопостачання, водовідведення та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури

Адреса робоча: 84333 Україна, м. Краматорськ, вул. Героїв Небесної Сотні, 14

ORCID ID 0000-0003-2282-0512 **e-mail:** i.g.gevlich@donnaba.edu.ua

Гєвлич Тарас Іванович

бакалавр за ОП «Екологія та охорона навколишнього середовища» Донбаської національної академії будівництва і архітектури

Адреса робоча: 84333 Україна, м. Краматорськ, вул. Героїв Небесної Сотні, 14

ORCID ID 0000-0003-3387-1657 **e-mail:** t.gevlich@donnaba.edu.ua

УДК 504.067

Olena Voloshkina, Dr, Professor of the Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID 0000-0002-3671-4449 *e-mail*: e.voloshki@gmail.com

Olena Zhukova, PhD, Associate Professor of the Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID 0000-0003-0662-9996 *e-mail*: elenazykova21@gmail.com

Irina Korduba, PhD, Associate Professor of the Department of Labour and Environment Protection
e-mail: uaror-korduba@ukr.net

Daniil Marshall, graduate student of the Department of Labour and Environment Protection
e-mail: daniil.marshall@icloud.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

METHODICAL APPROACHES TO THE EVALUATION OF SURFACE POLLUTION OF WATER OBJECTS IN THE AREA OF MINING ENTERPRISES (ON THE EXAMPLE OF DONETSK-PRIDNIPROVSK REGION)

***Abstract.** The most important component of ecologically safe development of natural and socio-economic systems is the use of nature, which involves the organization of water resources, which ensures sustainable development and for a long time retains sufficient water potential. The XXI century is characterized by significant negative changes in the natural environment caused by the uncontrolled use of natural resources, the development of industry and transport, which leads to increased water consumption and at the same time increase its pollution. This has been particularly noticeable over the last 50 years, when human impact on the planet's water cycle has reached a global scale. Deterioration of the ecological condition of surface waters is due to qualitative and quantitative depletion of factors of their formation, which in some cases makes it impossible to use them for economic purposes. Water quality of water bodies is formed under the influence of both natural and anthropogenic factors. As a result of human activity in reservoirs many anthropogenic substances of various degree of toxicity can arrive. The article attempts to assess changes in surface water quality over the past decade and to determine the degree of natural and man-made transformation of rivers in the region and the possibility of their self-restoration and stabilization of the ecological danger of the region. The existing methods of assessment of water bodies by chemical indicators used in the area of operation of mining enterprises are considered. In some methods, the assessment of water bodies usually reflects regional features rather than their own pollution. Calculations for the water basin river Siverskyi Donets are made and relevant patterns are established.*

***Key words:** pollution; surface water bodies; anthropogenic impact; quality index; self-healing*

O.C. Волошкіна, О.Г. Жукова, І.Б. Кордуба, Д.І. Маршалл, 2021

О.С. Волошкіна, О.Г. Жукова, І.Б. Кордуба, Д.І. Маршалл

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

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ В ЗОНІ ДІЇ ГІРНИЧО- ВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ (НА ПРИКЛАДІ ДОНЕЦЬКО- ПРИДНІПРОВСЬКОГО РЕГІОНУ)

***Анотація.** Найважливішою складовою екологічно безпечного розвитку природних і соціально-економічних систем є таке природокористування, яке передбачає організацію використання водних ресурсів, при якому забезпечується сталий розвиток і протягом тривалого часу зберігається для цього достатній водно-ресурсний потенціал. XXI століття характеризується значними негативними змінами природного середовища, викликаними безконтрольним використанням природних ресурсів, розвитком промисловості та транспорту, що призводить до збільшення споживання води і водночас зростання її забруднення. Особливо це стало помітним протягом останніх 50 років, коли вплив людини на водний цикл планети досягнув глобального масштабу. Погіршення екологічного стану поверхневих вод суходолу зумовлено якісним та кількісним виснаженням факторів їх формування, що у низці випадків унеможливорює їх використання для господарських цілей. Якість вод водних об'єктів формується під впливом як природних, так і антропогенних факторів. В результаті людської діяльності у водойми може надходити багато антропогенних речовин різного ступеня токсичності. В статті зроблена спроба оцінити зміни якості поверхневих вод за останнє десятиліття та визначити ступінь природно-техногенної трансформації річок регіону та можливість їх самовідновлення та стабілізації стану екологічної безпеки регіону. Розглянуті існуючі методи оцінки водних об'єктів за хімічними показниками, які використовують в зоні дії гірничо-видобувних підприємств. В низці методів оцінка водних об'єктів зазвичай відображає регіональні особливості, а не власне їх забруднення. Проведені розрахунки для водного басейну р. Сіверський Донець та встановлені відповідні закономірності.*

***Ключові слова:** забруднення; поверхневі водні об'єкти; антропогенний вплив; індекс якості; самовідновлення*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.69-75>

Вступ

Якість вод водних об'єктів формується під впливом як природних, так і антропогенних факторів. В результаті людської діяльності у водойми може надходити багато антропогенних речовин різного ступеня токсичності. Забруднюють водойми стоки сільськогосподарських і промислових підприємств, стічні води населених пунктів. У сучасних умовах проблема забезпечення населення чистою водою стає все більш актуальною, а дослідження стану водних об'єктів є одним з найважливіших завдань.

Що стосується розглядуваного регіону, то лівова частина забруднень, які надходять в поверхневі води, міститься в стічних водах промислових підприємств. Так, станом на 2018 рік у Донецькій області на підконтрольній території працювало 17 потенційно небезпечних підприємств, в Луганській області – 10 (на невідконтрольній 5 і 15 – відповідно). Також причиною

погіршення якості є неконтрольоване закриття нерентабельних шахт регіону (як на підконтрольній, так і на непідконтрольній території), що мають гідравлічний взаємозв'язок. Про цей вплив свідчить насамперед поступове підвищення показників мінералізації в басейнах річок Донецько-Придніпровського регіону, особливо активно починаючи з 2000 року. Наприклад, за даними Національної доповіді за 2018 рік, показник загальної мінералізації в поверхневих водах р. Самара сягнув 2800 мг/л.

Результати досліджень

В даному дослідженні зроблена спроба оцінити зміни якості поверхневих вод за останнє десятиліття та визначити ступінь природно-техногенної трансформації річок регіону та можливість їх самовідновлення та стабілізації стану екологічної небезпеки регіону.

На даний час маємо численні дослідження щодо розроблення або удосконалення існуючих методів оцінки якості.

Незважаючи на тривалий період активних розробок в цій області (близько 40 років), більшість проблемних питань і сьогодні знаходяться в стадії дослідження. Рівень і якість їх вивченості неоднакові; істотно відрізняється ступінь теоретичної розробки окремих елементів процедури оцінювання.

Алгоритм отримання інтегральних індексів складається з реєстру вихідних показників хімічного складу води і методик їх визначення, вибору стандарту для екологічної градації якості води за кожним показником, методу розрахунку індексу і еталонів для інтегральної оцінки води.

На сьогодні основна частина запропонованих методів оцінки забруднення поверхневих гідроекосистем ґрунтується на ГДК. Умовно ці методи можна поділити на дві групи:

- ті, які дозволяють оцінити якість води за сукупністю хімічних, біологічних, мікробіологічних та фізичних показників;
- ті, які пов'язані з розрахунком комплексних індексів забруднення води.

Прикладом першої групи методів є класифікація, в якій водні об'єкти діляться на класи за хімічними, бактеріологічними та біологічними показниками. Відповідно якість води оцінюється за її фізичними та органолептичними властивостями. В якості найвагоміших показників рекомендується використання наступних показників: титр кишкової палички, запах, БСК₅, азот амонійний, наявність нафтопродуктів та ін. Із комплексних індексів на основі ГДК найбільш популярними є ІЗВ.

В досліджуваному нами регіоні розташовані водний басейн Сіверського Дінця та річок Приазов'я. Донецько-Придніпровський регіон займає близько 19% території України. Тут розташовані майже 5 тисяч підприємств металургійної, хімічної, енергетичної, машинобудівної, гірничої, вугільної та інших галузей.

В досліджуваному регіоні можна виділити декілька типів техногенних вод:

- рудні води, які накопичуються в кар'єрах та шахтах;
- води, які фільтруються з відвалів відкритих порід;
- води хвостосховищ;
- фільтраційні води, які утворюються внаслідок фільтрації води.

Необхідно відмітити деякі особливості техногенних вод:

- вони характеризуються високим ступенем мінералізації, що не характерно для природних вод. Такі аномалії суттєво впливають на життєдіяльність гідробіонтів та якість питного водопостачання;
- води характеризуються високим нерівномірним вмістом азотомістких речовин;
- висока варіабельність вмісту мікроелементів.



Рис. 1 – Карта-схема району дослідження басейну р. Сіверського Дінця з лінією розмежування на підконтрольній та непідконтрольній території (за матеріалами місії ОБСЄ)

Оцінити стан техногенного забруднення водних екосистем в повній мірі немає можливості, що пов'язано з відсутністю регулярних відборів проб та проведенням АТО. За останніми дослідженнями всі гідроекосистеми відносяться до брудних. Оцінка за БСК₅ цілком зрозуміла, оскільки води забруднені мінеральними речовинами і це відображається на величині БСК.

За досліджуваний період поверхневі води у створах вздовж водотоку річки Сіверський Донець на основі Інтегрального показника якості води (категорія) відносяться переважно до III класу якості 4 категорії (задовільні, слабо забруднені). Найбільш забрудненими притоками на основі Інтегрального показника якості води (категорія) є річки Казенний Торець і Бахмутка, які відповідають III класу якості 5 категорії (посередні, помірно забруднені).

Концентрації сольових показників, біогенних, органічних, специфічних речовин незначно коливаються на рівні минулого року та середньобагаторічних показників. Відзначається перевищення середньорічних ГДК по: БСК₅ – 1,5-2,2 ГДК, азоту амонійному – до 2,8 ГДК, залізу загальному – до 2,2 ГДК, марганцю – 2,8-11,3 ГДК, міді – 2,5-4,3 ГДК, нафтопродуктам – до 2,4 ГДК, нітратам – до 5,2 ГДК, хрому (VI) – 3,8-7,5 ГДК, цинку – 1,3-2,6 ГДК. Кисневий режим задовільний. Вміст токсикологічних інгредієнтів у створах по руслу р. Сіверський Донець нижчий за межу визначення методик, у створах суббасейнів – значно нижчий встановлених ГДК.

Таблиця 1 – Усереднені показники техногенного забруднення основних гідроекосистем

| Дата | Амоній іони, мг/дм ³ | Біохімічне споживання кисню за 5 діб, мгО ₂ /дм ³ | Завислі (суспендовані) речовини, мг/дм ³ | Кисень розчинений, мгО ₂ /дм ³ | Нітрат-іони, мг/дм ³ | Нітрит-іони, мг/дм ³ | Сульфат-іони, мг/дм ³ | Фосфат-іони (поліфосфати), мг/дм ³ | Хлорид-іони, мг/дм ³ |
|---|------------------------------------|--|---|--|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------------------|
| р. Сіверський Донець, 522 км, м. Слов'янськ, Райгородська гребля, питний водозабір у канал "Сіверський Донець – Донбас" | | | | | | | | | |
| 13.01.20 | 2,090 | 3,600 | 9,000 | 9,82 | 7,430 | 0,076 | 278,6 | 1,200 | 71,0 |
| 11.02.20 | 2,210 | 3,580 | 9,500 | 10,05 | 7,880 | 0,080 | 269,0 | 1,220 | 78,1 |
| 04.03.20 | 2,230 | 3,580 | 9,000 | 10,20 | 7,920 | 0,078 | 269,0 | 1,160 | 71,0 |
| 06.04.20 | 1,990 | 3,560 | 9,500 | 10,05 | 7,150 | 0,070 | 269,0 | 1,100 | 67,4 |
| 05.05.20 | 2,110 | 3,600 | 9,200 | 9,87 | 7,600 | 0,074 | 288,2 | 1,180 | 71,0 |
| 03.06.20 | 2,190 | 3,620 | 9,400 | 9,78 | 7,880 | 0,080 | 278,6 | 1,200 | 71,0 |
| 20.07.20 | 1,900 | 3,580 | 11,000 | 9,27 | 6,510 | 0,085 | 288,2 | 1,640 | 71,0 |
| 11.08.20 | 2,200 | 3,520 | 10,800 | 8,94 | 7,130 | 0,082 | 278,6 | 1,620 | 71,0 |
| 03.09.20 | 1,980 | 3,580 | 11,000 | 7,96 | 7,880 | 0,078 | 288,2 | 1,220 | 63,9 |

Відповідно до даних таблиці 1 на прикладі одного створу спостерігається перевищення ГДК за досліджуваними показниками. Дані по таблиці отримані в Державному агентстві водних ресурсів України. По інших створах спостереження відзначається подібна ситуація.

Про зростаюче ускладнення водно-екологічних умов ПГВ регіону Донбасу може свідчити також стійке погіршення санітарно-хімічних показників проб води. Так, в пробах, відібраних за період 2010–2012 рр. як у містах і селищах, так і сільських населених пунктах, відповідно:

- по Донецькій області – збільшення від 39,7 до 49,8% та від 17,7 до 17,9%;
- по Луганській області – збільшення від 56,8 до 59,5% та від 86,7 до 88%.

Таблиця 2 – Усереднені результати обчислення екологічних показників стану водного басейну р. Сіверський Донець

| Період дослідження | ІЗВ | I _e | Коефіцієнт самовідновної здатності, % випадків | | | Індекс сапробності |
|--------------------|-----------------------|----------------|--|----------------------|----------------------|--------------------|
| | | | Низький (0 – 0,35) | Середній (0,36–0,70) | Високий (0,71 – 1,0) | |
| 1990-2000 | 2,3 (III-забруднена) | 4,11 | 65,23 | 33,1 | 1,67 | 0,43 |
| 2001-2010 | 2,25 (III-забруднена) | 3,56 | 71,56 | 27,64 | 0,8 | 0,29 |
| 2011-2020 | 2,03 (III-забруднена) | 3,15 | 81,47 | 17,97 | 0,56 | 0,35 |

Підтвердженням стійкого забруднення поверхневих джерел ПГВ та їх водозборів є довгострокове виявлення у пробах колі-фагів, вміст яких до десятків разів перевищує припустимі рівні (Донецька обласна СЕС, епізодичні дані 2000–2013 рр.).

Аналізуючи показники наявного моніторингу в 2020 році та порівнюючи їх із даними періодичного моніторингу, зроблено висновок про суттєве погіршення якості води майже за всіма якісними та кількісними показниками водних екосистем.

Проведене дослідження механізму здатності водних об'єктів до самовідновлення по ряду існуючих створів спостережень свідчить про значну часткову втрату цієї складової у водних екосистемах за останні 10 років (порівняно з 1990–2010 рр.).

Висновки

У зв'язку з вищенаведеним можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз сучасної водно-екологічної ситуації досліджуваної території свідчить про суттєве погіршення якості та часткову втрату властивостей самоочищення на прикладі окремих даних спостережень та на окремих створах.

2. Ці обставини зумовлюють необхідність постійного гідрохімічного контролю поверхневих вод та джерел резервного водопостачання в зонах впливу потенційно небезпечних підприємств, а також в зонах впливу затоплення шахт для забезпечення підтримки регіонального екологічного управління та запобігання виникненню надзвичайних ситуацій водно-екологічного походження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Былинкина А.А., Драчев С.М., Ицкова А.И. О приемах графического изображения аналитических данных о состоянии водоемов // Матер. 16-го гидрохим. совещ. Новочеркасск, 1962. С. 8–15.
2. Гагарина О.В. Обзор методов комплексной оценки качества поверхностных вод // Науки о Земле. 2005. № 11. С. 45–58.
3. Жукинский В.Н., Окслюк О.П., Олейник Г.Н., Кошелева С.И. Критерии комплексной оценки качества поверхностных пресных вод // Самоочищение и биоиндикация загрязненных вод. М.: Наука, 1980. С. 57–63.
4. Замолодчиков Д.Г. Оценка экологически допустимых уровней антропогенного воздействия на пресноводные экосистемы // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. XV. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 214–233.
5. Основы экогеологии, биоиндикации и биотестирования водных экосистем / Под ред. Куриленко В.В. СПб.: СПбГУ, 2004. 448 с.
6. Патин С.А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность мирового океана. М.: Пищевая пром-ть, 1979. 304 с.
7. Удод В.М. Разработка современных биоценологических методов контроля экологического состояния гидроэкосистем рек / В.М. Удод, И.Л. Вильдман, Е.Г. Жукова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2014. – Вып. 5/10(71). – С. 4–11.
8. Кулинич Я.І. Зниження техногенного впливу притоки водного басейну Кальміус р. Кальчик за рахунок використання берегового біоплато / Я.І. Кулинич, О.Г. Жукова // Актуальні проблеми сучасної гідроекології: зб. мат. наук.-практ. конф., присвяченої 95-річчю заснування Національної академії наук України (5-6 листопада 2013 р.). – Київ. – С. 55–56.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2021 і прийнята до друку після рецензування 17.06.2021

REFERENCES

1. Bylinkina, A.A., Drachev, S.M., & Itskova, A.I. (1962). On the methods of graphical representation of analytical data on the state of reservoirs. In *Mater. 16th hydrochem. meeting* (pp. 8-15). Novocherkassk [in Russian].
2. Gagarina, O.V. (2005). Review of methods for integrated assessment of surface water quality. *Earth Sciences*, 11, 45-58 [in Russian].
3. Zhukinsky, V.N., Oksiyuk, O.P., Oleynik, G.N., & Kosheleva, S.I. (1980). Criteria for a comprehensive assessment of the quality of surface fresh water. In *Self-purification and bioindication of contaminated water* (pp. 57-63). Moscow: Nauka [in Russian].
4. Zamolodchikov, D.G. (1993). Estimation of ecologically admissible levels of anthropogenic impact on freshwater ecosystems. In *Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems* (Vol. XV, pp. 214-233). Sankt Peterburg: Gidrometeoizdat [in Russian].
5. Kurylenko, V.V. (Ed.). (2004). *Fundamentals of ecogeology, bioindication and biotesting of aquatic ecosystems*. Sankt Peterburg: SPbGU [in Russian].
6. Patin, S.A. (1979). *Impact of pollution on biological resources and productivity of the world's oceans*. Moscow: Pishchevaya prom-t [in Russian].
7. Udod, V.M., Wildman, I.L., & Zhukova, E.G. (2014). Development of modern biocoenotic methods of control of ecological condition of river hydroecosystems. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 5/10(71), 4-11 [in Russian].
8. Kulinich, Y.I., & Zhukova, O.G. (2013). Reduction of technogenic impact of the inflow of the Kalmius river basin of the Kalchyk river due to the use of the coastal bioplateau. In *Actual problems of modern hydroecology: collection. mate. scientific-practical conference dedicated to the 95th anniversary of the National Academy of Sciences of Ukraine* (pp. 55-56). Kyiv [in Ukrainian].

The article was received 15.03.2021 and was accepted after revision 17.06.2021

Волошкіна Олена Семенівна

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

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

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

Жукова Олена Григорівна

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

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

ORCID ID 0000-0003-0662-9996 **e-mail:** elenazykova21@gmail.com

Кордуба Ірина Богданівна

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

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

e-mail: uamrv_ibk@ukr.net

Маршалл Данііл Ігорович, аспірант кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

e-mail: daniil.marshall@icloud.com

УДК 628.4

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

Leonid I. Potapenko², PhD, Senior Researcher
ORCID ID 0000-0003-0176-6094 *e-mail*: lpotapenko@ukr.net

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

Oleksandr Y. Kovalchuk¹, PhD, Senior Researcher
ORCID ID 0000-0001-6337-0488 *e-mail*: kovalchuk.oyu@gmail.com

Aleksey Vasiliev³, Dr., Professor
ORCID ID 0000-0003-2687-0672 *e-mail*: vasiliev@etsu.edu

Oksana M. Nechipor¹, PhD, Assistant
ORCID ID 0000-0001-8635-2231 *e-mail*: okschena@ukr.net

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

² Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

³ East Tennessee State University, Johnson City, USA

RESEARCH OF HEAVY METALS LEACHING FROM SEDIMENTS AFTER FERRITIZATION PROCESSING OF GALVANIC SLUDGE

***Summary.** Possibility of environmental safety increasing for industrial enterprises as a result of resource-saving technology implementation for processing galvanic sludge is considered. An experimental study of stability for sediments after ferritization processing of galvanic sludge and exhausted technological solutions was carried out. As a result of dynamic leaching of heavy metal ions, the immobilization properties of sediments were determined, which were obtained at different technological parameters of the ferritization process. It is shown that the level of immobilization of heavy metals in ferritic sediments has significantly higher values in comparison with sediments of traditional wastewater neutralization. It was found, that the precipitate obtained at following key parameters of reaction mixture for the ferritization process: the total concentration of heavy metal ions 10.41 g/dm³; ratio of concentrations of iron ions to total concentration of other heavy metals ions 4/1 and pH value of 10.5, is characterized by the highest degree of immobilization of heavy metals in the sediments of 99.96% mass. Using the results of a complete factorial experiment, regression equation for the leaching of heavy metal ions (iron, nickel, copper and zinc) from ferrite sediments was obtained: ratio of iron concentrations to the total concentration of other heavy metals and the pH value of reaction mixture. The adequacy of coefficients of regression equations was evaluated according to the criteria of Student and Fisher, which with 95% reliability correspond to the experimental results of the study. The proposed calculation algorithm provides an opportunity to increase efficiency and automation of ferritization process. Subsequent use of the research results will allow to implement reliable utilization of ferritized galvanic waste by application them into the row materials for obtaining alkaline cements for special purposes.*

***Keywords:** galvanic waste; ferritization; leaching; heavy metals*

Д.М. Самченко¹, Л.І. Потапенко², Г.М. Кочетов¹, О.Ю. Ковальчук¹,
А. Васильєв³, О.М. Нечипор¹

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

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

³ Державний університет Східного Теннессі, США

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЛУГОВУВАННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ІЗ ПРОДУКТІВ ФЕРИТИЗАЦІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ ГАЛЬВАНІЧНИХ ШЛАМІВ

***Анотація.** Розглядається перспектива підвищення рівня екологічної безпеки промислових підприємств в результаті реалізації ресурсозберігаючої технології переробки гальванічних шламів. Проведено експериментальне дослідження стійкості осади феритизаційної переробки гальванічних шламів і відпрацьованих технологічних розчинів. В результаті динамічного вилуговування іонів важких металів визначено іммобілізаційні властивості осади, які отримані при різних технологічних параметрах процесу феритизації. Показано, що рівень іммобілізації важких металів у феритних осадах має суттєво вищі значення в порівнянні з осадами традиційної нейтралізації стічних вод. Встановлено, що осад, який отриманий при наступних ключових параметрах реакційної суміші для проведення процесу феритизації: сумарній концентрації іонів важких металів 10,41 г/дм³; співвідношенні концентрацій іонів феруму до сумарної концентрації інших важких металів 4/1 та величині рН 10,5, характеризується найвищим ступенем іммобілізації важких металів в осаді 99,96% мас. Використовуючи результати повного факторного експерименту, отримано рівняння регресії залежностей вилуговування іонів важких металів (феруму, нікелю, міді та цинку) із феритних осади від співвідношення концентрацій іонів феруму до сумарної концентрації інших важких металів та величини рН реакційної суміші. Проведена оцінка адекватності коефіцієнтів рівнянь регресії за критеріями Стюдента та Фішера, які з надійністю 95% відповідають експериментальним результатам дослідження. Запропонований алгоритм розрахунку надає можливість підвищення ефективності та автоматизації феритизаційного процесу. Використання результатів дослідження дозволить реалізувати надійну утилізацію феритизованих гальванічних відходів шляхом їх введення в шихту для отримання лужних цементів спеціального призначення.*

***Ключові слова:** гальванічні відходи; феритизація; вилуговування; важкі метали*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.76-87>

Вступ

Серед пріоритетних напрямків досліджень в галузі природно-техногенної безпеки в багатьох країнах особлива увага приділяється заходам з переробки та знешкодження токсичних відходів. Однією з гострих екологічних проблем є утворення та накопичення гальванічного шламу в результаті очистки стічних вод гальванічного виробництва. Щорічно в Україні на промислових підприємствах накопичуються тисячі тонн цих токсичних відходів (табл. 1) [1]. Обсяги цих відходів з кожним роком постійно зростають, тоді як темпи їх переробки та утилізації незрівнянно малі. Такі відходи утворюються при

реагентному очищенні стічних вод або утилізації робочих розчинів, в яких містяться іони важких металів. Гальванічний шлам після процесу нейтралізації має II–III клас небезпеки, у його складі містяться важкорозчинні гідроксиди важких металів [2]. Висока щільність розміщення гальванічних шламів на промислових майданчиках і розташування на значних територіях міської зони дозволяють оцінити їх як джерело високого техногенного впливу на складові навколишнього природного середовища [3]. При зберіганні таких шламів на відкритій поверхні під впливом атмосферних опадів іони важких металів вилугуюються з місць їх накопичення у ґрунт та водні об’єкти. Тому, неналежне зберігання таких шламів завдає невиправних збитків усій екосистемі.

Таблиця 1 – Поводження з відходами за класифікаційними угрупованнями Державного класифікатора відходів, які накопичилися у 2020 році, тонн

| № п/п | Найменування відходів | Обсяг утворених відходів | Обсяг утилізації | Обсяг видалених промислових відходів у спеціальні місця |
|-------|--|--------------------------|------------------|---|
| 1 | Шлам гідроксиду кольорових металів після нейтралізації | 390,3 | - | - |
| 2 | Шлами гальванічні з осаджувачем лугом (NaOH) | 50,0 | - | 0,5 |
| 3 | Розчини травильні кислоти, відпрацьовані у процесі оброблення металів та нанесення покриттів на метали | 2924,7 | 12,3 | 39,6 |
| 4 | Осад очисних споруд гальванічного виробництва, який містить оксиди кольорових тяжких металів | 164,8 | 61,8 | 0,4 |

Переробка гальванічних шламів з подальшим захороненням або зберіганням їх на спеціальних полігонах надто ускладнена і нерентабельна. Це спричинене тим, що існуючі технології переробки та знешкодження рідких токсичних відходів вимагають застосування багатостадійних процесів з використанням великої кількості хімічних реагентів, електроенергії і потребують значних капітальних вкладень. Крім того, при складуванні гальванічних шламів в накопичувачах, окрім збитку довіллю, втрачається велика кількість цінної сировини. Повторне використання вилучених з шламів матеріалів, навпаки, дозволяє у відчутних кількостях зекономити природні ресурси і понизити навантаження на екосистему [4]. Тому зараз активно ведуться наукові дослідження та розробляються технології, які передбачають ресурсозберігаючу переробку та утилізацію гальванічних відходів як завершальну стадію на гальванічному виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним з перспективних методів переробки рідких і пастоподібних гальванічних відходів є метод феритизації. Саме такий метод

використовується в роботі [5], в якій досліджується можливість хімічної стабілізації шламів при утворенні малотоксичних феритів важких металів – сполук IV класу небезпеки. Їх можна складувати на відкритих майданчиках без загрози забруднення довкілля. Феритизаційний процес передбачає трансформацію сполук дво- і тривалентного заліза та інших важких металів, при окисленні реакційної суміші киснем повітря. Крім того, цей метод забезпечує високий ступінь вилучення іонів важких металів з рідких промислових відходів [6].

Аналіз літературних даних показав, що на відміну від нейтралізації гальванічних шламів можливості утилізації феритизаційних осадів значно розширюються. Їх можна використовувати у виробництві магнітом'яких високочастотних матеріалів [7], феромагнітних тканин [8], а також радіопоглинаючих покриттів [9], в яких вимоги до структури феритного матеріалу строго регламентовані. Як альтернатива є також безпосереднє використання феритних осадів у виробництві лужних цементів спеціального призначення [10]. Попередні дослідження показали, що такі цементи є стійкими до дії агресивного середовища та мають значний спектр унікальних експлуатаційних властивостей. Лужні цементи надійно фіксують у своїй структурі радіоактивні та важкі метали не тільки на фізичному, але і на хімічному рівні [11]. В роботі [12] показано можливість введення в склад лужних цементів як наповнювача феритного осаду в межах від 5,5 до 7,5% мас. (вміст фази фериту металів в осаді $\geq 90\%$). Відхилення міцності отриманих лужних цементів від стандартних аналогів не перевищує 5%.

Встановлено, що переробка промислових стічних вод і гальванічних шламів методом феритизації здійснюється при температурі вище 60 °C з тривалістю процесу більше години [13]. З огляду на суттєву енергоємність та ресурсозатратність термічного способу активації процесу, альтернативою йому може слугувати енергоощадна електромагнітна імпульсна (ЕМІ) активація реакційної суміші [14].

Слід зазначити, що в роботах [11, 12] залишились невирішеними питання щодо стійкості феритних осадів, отриманих при різних технологічних параметрах процесу феритизації. Ось чому дослідження ступеня вилуговування важких металів з феритних осадів сприяє розробці екологічно безпечної їх утилізації, а отже, енерго- та ресурсозбереженню на гальванічному виробництві. Все це дозволяє стверджувати про надійність і безпечність переробки токсичних гальванічних шламів методом феритизації з подальшим використанням продуктів переробки у різних будівельних матеріалах. Такий метод утилізації гальванічних відходів дозволить зекономити цінну сировину та використати токсичний гальванічний шлам як товарний продукт.

Метою цієї роботи є дослідження хімічної стійкості осадів, отриманих при переробці гальванічних шламів феритизацією, та виконання математичної обробки отриманих експериментальних даних.

Методика дослідження

Для дослідження використовувалися зразки феритних осадів, які отримані в процесі переробки гальванічних відходів методом феритизації згідно з методикою, що наведена в [15]. Феритизація здійснювалась на лабораторних

установках із термічною [16] та електромагнітною імпульсною (ЕМІ) [15] активацією процесу при температурах 75 °С і 18 °С, відповідно. Використовували наступні технологічні параметри процесу феритизації: сумарна концентрація іонів важких металів $C_{\Sigma} = 6,41 \div 14,23$ г/дм³; співвідношення концентрацій іонів феруму $[Fe^{зар.}] ([Fe^{2+}] + [Fe^{3+}])$ до сумарної концентрації іонів інших важких металів у розчині ($\Sigma Me = [Ni^{2+}] + [Cu^{2+}] + [Zn^{2+}]$) $Z = 2 \div 6$; величина рН = 8,5 ÷ 10,5; тривалість процесу $\tau = 25$ хв.

Хімічну стійкість цих феритних осадів визначали шляхом вилуговування іонів важких металів у дистильованій воді, згідно з вимогами EN 12457 –1:2002 Part 1. Вилуговування проводилося протягом 1 доби в динамічному режимі, який має місце при дії атмосферних опадів на шлам, що знаходиться на звалищах. Для цього використовували установку для перемішування зразків осадів зі швидкістю обертання 9 об/хв, яка представлена в роботі [17].

Для дослідження використовували зразок феритного осаду із масою M_D 0,175 кг ± 0,005 кг. Наважку поміщали в пляшку з поліпропілену об'ємом 0,5 дм³. Потім додавали необхідний об'єм вилуговувача – дистильованої води L , що встановлюється в процесі екстракції співвідношенням рідина/тверда речовина, яке дорівнює 2 дм³/кг ± 2%. Відносна величина вилуговування іонів важких металів (A) у мг на кг осаду визначається формулою (1):

$$A = C_{зал.} \cdot \left[\left(\frac{L}{M_D} \right) + \left(\frac{MC}{100} \right) \right], \quad (1)$$

де L – об'єм вилуговувача, дм³;

MC – коефіцієнт вмісту вологи, %;

M_D – маса сухої речовини в зразку осаду, кг;

A – кількість вилугованого компонента, мг/кг;

$C_{зал.}$ – залишкова концентрація компонента в елюаті, мг/дм³.

Величину рН елюату визначали за допомогою приладу рН 150. В дослідженнях використовувалася дистильована вода із значенням рН 6,0 та електропровідністю < 5 мкСм/см.

Залишкові концентрації іонів важких металів (феруму, нікелю, міді і цинку) після вилуговування важких металів в елюаті визначали на спектрофотометрі Nach DR 3900.

Рентгенофазовий аналіз осадів проводили на дифрактометрі Ultima IV. Досліджувані осадки мають наступний склад: ферити важких металів $Fe_2(Fe, Ni, Cu, Zn)O_4$ в кількості від 60 ÷ 80%, оксигідроксид заліза-нікелю $(FeNi)O(OH)$ – 10 ÷ 20% та сульфат натрію Na_2SO_4 – 10 ÷ 20%.

Для планування експерименту, в якому реалізуються всі можливі поєднання рівнів факторів, використовували повний факторний експеримент (ПФЕ) [18]. ПФЕ моделюється для кодованих факторів Z_i , які можуть приймати тільки два дискретних значення +1; -1 (верхній та нижній рівень, відповідно), і розраховується за формулою (2) і (3).

Для розрахунків коефіцієнтів a_j ($j = 0, 1, 2$) для факторів Z ПФЕ застосовували рівняння регресії:

$$y = a_0 + a_1 Z_1 + a_2 Z_2, \quad (2)$$

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{ij} \cdot y_i}{n}, i = 0, 1, 2; \quad (3)$$

де y_i – значення параметра оптимізації в i -му досліді;
 n – кількість дослідів ($n = 4$).

Коефіцієнти рівняння регресії обчислювали за допомогою програми лінійного пакету “Microsoft Excel 14.0”. Перевірку значимості коефіцієнтів проводили за допомогою критеріїв Стюдента та Фішера [19].

Результати дослідження

Вивчення вилуговування іонів важких металів з феритних осадів дозволяє визначити хімічну стійкість цих матеріалів, а отже, встановити їх екологічну безпечність. Як показують результати дослідження (табл. 2, 3), вилуговування іонів важких металів з отриманих осадів головним чином залежить від технологічних параметрів феритизації і способів активації реакційної суміші. Аналізуючи дані табл. 2, слід зазначити, що найнижчі значення концентрацій іонів $Fe^{зар.}$, Ni^{2+} , Cu^{2+} та Zn^{2+} в елюаті при вилуговуванні їх з осадів, які отримані при $pH = 10,5$. Крім того, ці концентрації іонів металів відповідають вимогам ДСанПіН 2.2.7.029–99 та Директиві 86/278/ЄС щодо їх ГДК у ґрунті. Це свідчить про надійну фіксацію цих токсичних металів у складі феритних новоутворень із стійкою кристалічною структурою оберненої шпінелі. Слід зазначити, що перевищення зазначених вище нормативів при вилуговуванні іонів Ni^{2+} та Cu^{2+} спостерігається при їх осадженні з реакційної суміші, яка має $pH = 8,5$. Як видно з табл. 2, вилуговування іонів важких металів з осадів, які отримані при послідовному підвищенні величини pH від 8,5 до 10,5, зменшується. В порівнянні з традиційним термічним способом, використання електромагнітної імпульсної активації реакційної суміші в процесі феритизації призводить до незначного збільшення вилуговування іонів $Fe^{зар.}$, Cu^{2+} та Zn^{2+} з осадів в межах $0,1 \div 0,9$ мг/кг. Інша тенденція спостерігається при вилуговуванні іонів Ni^{2+} : їх концентрація приблизно в 2 рази більша при термічному способі активації в порівнянні з електромагнітним імпульсним в усьому досліджуваному діапазоні pH .

Таблиця 2 – Результати вилуговування важких металів з осадів феритизації при різних величинах pH

| Умови проведення феритизації | | Вилуговування важких металів (А) з феритних осадів, мг/кг | | | | | | | |
|------------------------------|-----------|---|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | | Спосіб активації процесу феритизації | | | | | | | |
| pH | Z (Fe/Me) | Електромагнітний імпульсний | | | | Термічний | | | |
| | | $Fe^{зар.}$ | Ni^{2+} | Cu^{2+} | Zn^{2+} | $Fe^{зар.}$ | Ni^{2+} | Cu^{2+} | Zn^{2+} |
| 8,5 | 4/1 | 0,45 | 5,42 | 3,11 | 1,15 | 0,33 | 13,0 | 2,36 | 0,93 |
| 9,5 | | 0,32 | 3,61 | 0,94 | 0,58 | 0,30 | 7,75 | 0,91 | 0,42 |
| 10,5 | | 0,21 | 0,47 | 0,83 | 0,41 | 0,20 | 0,78 | 0,72 | 0,33 |

Аналіз даних, які наведені в табл. 3, свідчить про те, що найменші значення вилуговування іонів важких металів із осадів спостерігаються при проведенні процесу феритизації із $Z = 4/1$ та $pH = 10,5$. Концентрації цих іонів в елюаті знаходяться в межах $0,20 \div 0,83$ мг/кг. При суттєвому збільшенні концентрації іонів $Fe^{зар.}$ в розчині ($Z = 6/1$) вилуговування іонів важких металів хоч і сягає максимальних значень, але залишається в рамках вимог стандартів ДСанПіН 2.2.7.029–99 та Директиви 86/278/ЄС.

Таблиця 3 – Результати вилуговування важких металів з осадів феритизації при різних співвідношеннях іонів феруму до інших важких металів (Z)

| Умови проведення феритизації | | Вилуговування важких металів (А) з феритних осадів, мг/кг | | | | | | | |
|------------------------------|------|---|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | | Спосіб активації процесу феритизації | | | | | | | |
| Z (Fe/Me) | pH | Електромагнітний імпульсний | | | | Термічний | | | |
| | | $Fe^{зар.}$ | Ni^{2+} | Cu^{2+} | Zn^{2+} | $Fe^{зар.}$ | Ni^{2+} | Cu^{2+} | Zn^{2+} |
| 2/1 | 10,5 | 0,48 | 0,54 | 1,32 | 0,29 | 0,34 | 0,86 | 1,29 | 0,23 |
| 4/1 | | 0,21 | 0,47 | 0,83 | 0,41 | 0,20 | 0,78 | 0,72 | 0,33 |
| 6/1 | | 0,94 | 0,64 | 2,63 | 1,22 | 0,49 | 1,74 | 2,44 | 0,95 |

В роботі параметром оптимізації є значення вилуговування іонів важких металів ($Fe^{зар.}$, Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) із осадів при переробці гальванічних відходів методом феритизації. При цьому визначаються раціональні технологічні параметри установки з отриманням екологічно стійких осадів.

Для результатів експериментів з вилуговування важких металів з феритних осадів, які проведені при різних технологічних параметрах феритизації з ЕМІ активацією, позначимо відповідні плани ПФЕ від №1 до №4. Матриця планування і результати факторного експерименту наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Матриця планування ПФЕ і результати експериментів

| Фактори | Співвідношення концентрацій | pH | ПФЕ №1 | ПФЕ №2 | ПФЕ №3 | ПФЕ №4 | |
|---------------------|-----------------------------|-------|--|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Позначення | Z_1 | Z_2 | Вилуговування іонів важких металів з осадів А, (мг/кг) | | | | |
| Одиниці вимірювання | відн. од. | pH | | | | | |
| Нижній рівень (-) | 2 | 8,5 | | | | | |
| Середній рівень (0) | 4 | 9,5 | | | | | |
| Верхній рівень (+) | 6 | 10,5 | | | | | |
| № дослідю | Кодування значення | | | $Fe^{зар.}$ | Ni^{2+} | Cu^{2+} | Zn^{2+} |
| | Z_0 | Z_1 | Z_2 | | | | |
| 1 | + | - | - | 0,55 | 6,12 | 4,81 | 0,62 |
| 2 | + | + | - | 0,48 | 0,54 | 1,32 | 0,29 |
| 3 | + | - | + | 1,61 | 7,91 | 6,83 | 2,46 |
| 4 | + | + | + | 0,94 | 0,64 | 2,64 | 1,22 |

За допомогою комп'ютерної обробки результатів експерименту визначені коефіцієнти рівняння регресії, які представлені у табл. 5.

Таблиця 5 – Коефіцієнти рівнянь регресії

| № ПФЕ | Коефіцієнти регресії | | |
|-------|----------------------|--------|-------|
| | a_0 | a_1 | a_2 |
| 1 | 0,895 | -0,185 | 0,380 |
| 2 | 3,802 | -3,212 | 0,472 |
| 3 | 3,900 | -1,920 | 0,835 |
| 4 | 1,147 | -0,392 | 0,692 |

Для адекватності отриманих результатів ПФЕ №1 ÷ 4 проведено зіставлення розрахункових та експериментальних даних, отриманих при ЕМІ способі активації (рис. 1).

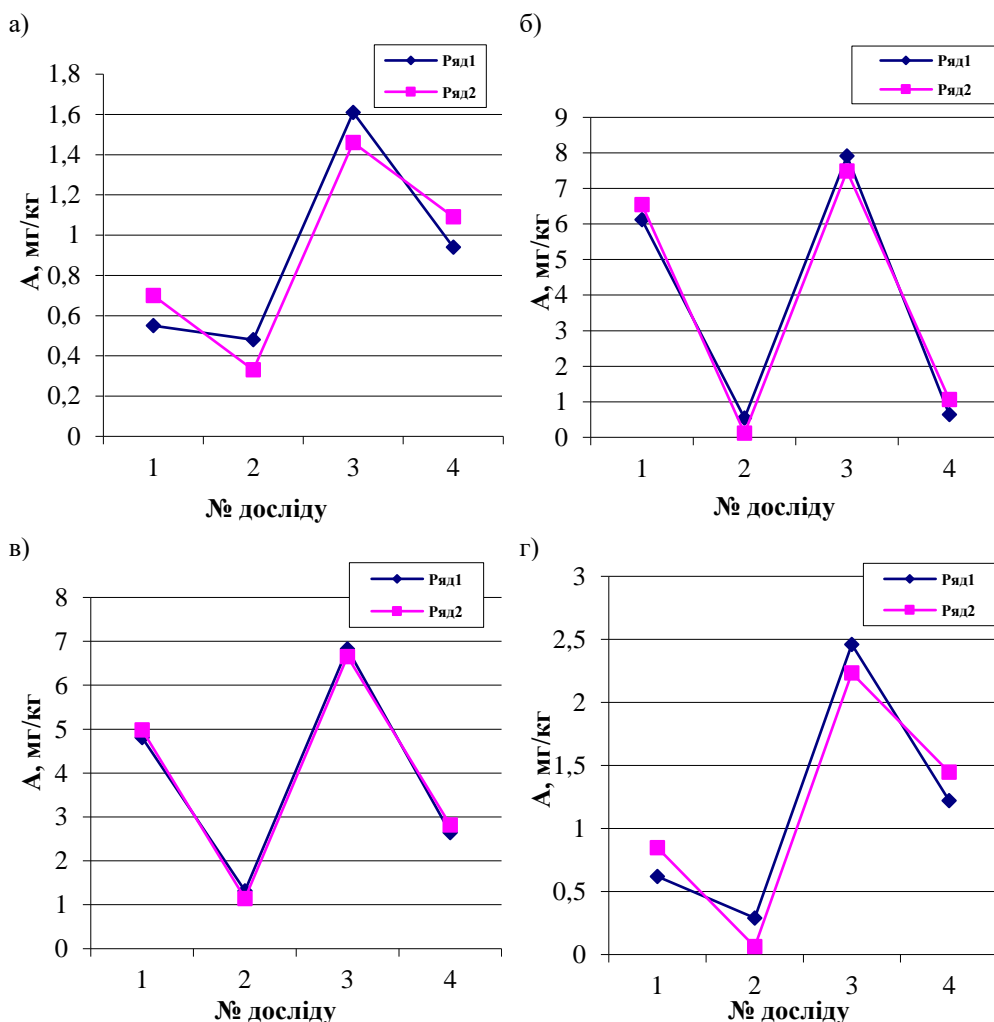


Рис. 1 – Адекватність експериментальних (Ряд 1) та розрахункових (Ряд 2) даних повного факторного експерименту: а – №1, б – №2, в – №3, г – №4

Розрахункові значення вилуговування важких металів, які наведені на рис. 1, добре узгоджуються з даними, отриманими експериментально. Про це

свідчить оцінка адекватності коефіцієнтів рівнянь регресії за критеріями Стьюдента та Фішера. Запропоновані регресійні рівняння з надійністю 95% адекватно описують експериментальні результати дослідження.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Результати вилуговування іонів важких металів (феруму, нікелю, міді і цинку) з осадів, які отримані при різних умовах феритизації, показали надійну фіксацію цих металів у складі новоутворень із структурою оберненої шпінелі. Відмічено, що вилуговування іонів важких металів зростає при зниженні величини рН феритизаційного процесу від 10,5 до 8,5, що, очевидно, обумовлено зменшенням кількості кристалічних феритних фаз в осаді. Вилуговування іонів нікелю збільшується із підвищенням вмісту фази нікелевого лимоніту (FeNi)O(OH). Ця фаза є нестабільною у водному розчині [15], отже, її вміст суттєво впливає на ступінь вилуговування іонів нікелю.

Крім того, результатами досліджень показано, що для більшості важких металів (Fe³⁺, Ni²⁺, Zn²⁺) найменше вилуговування металів спостерігається при співвідношенні $Z(Fe/Me) = 4/1$ і не залежить від способу активації феритизації. Встановлено, що осад, який отриманий при електромагнітній імпульсній активації та наступних параметрах феритизації: $C_{\Sigma} = 10,41$ г/дм³; $Z = 4/1$, рН = 10,5, характеризується значним ступенем іммобілізації важких металів 99,96% на відміну від гальванічних шламів, у яких це значення менше ніж 97,8%. Концентрації важких металів після їх вилуговування з феритних осадів відповідають як вітчизняним, так і міжнародним вимогам стандартів щодо їх ГДК в питній воді та ґрунті.

Використовуючи результати повного факторного експерименту, отримано рівняння регресії залежностей вилуговування іонів важких металів із осадів від технологічних параметрів процесу переробки відходів феритизаційним методом. Встановлено, що розрахункові значення добре узгоджуються з даними експерименту. Про це свідчить проведена оцінка адекватності коефіцієнтів рівнянь регресії за критеріями Стьюдента та Фішера: регресійні рівняння з надійністю 95% адекватні експериментальним даним. Запропонований алгоритм розрахунку надає можливість підвищення ефективності та автоматизації феритизаційного процесу, зокрема, його ключових технологічних параметрів. В результаті суттєво зменшується вартість переробки гальванічного шламу та отримуються екологічно безпечні феритні осади. Слід зазначити, що ці осади можливо використовувати для створення екологічно безпечних матеріалів спеціального призначення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Держстат України, 1998 – 2021.
2. Wastewater Treatment from Galvanization Industry with Zinc recovery / Zueva S., Ferella F., Ippolito N.M., Ruduka E., De Michelis I. // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 247. 01064. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701064>.
3. Thermal stability of inorganic pigments synthesized from galvanic sludge / Marcus M.-I., Vlad M., Deak G., Moncea A., Panait A.-M., Movileanu G. // Revista de Chimie. 2020. Vol. 71(8). С. 13–20. URL: <https://doi.org/10.37358/rc.20.8.8274>.
4. Lanthanum oxide application for modifying the properties of chemically resistant ceramics produced with galvanic sludge additive / Vitkalova I.A., Uvarova A.S., Pikalov E.S.,

- Selivanov O.G. // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. 2020. Vol. 8(8). C. 4544–4547. URL: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/81882020>.
5. Catalytic and photocatalytic properties of zinc-nickel ferrites / Tsvetkov M.P., Milanova M.M., Cherkezova-Zheleva Z.P., Abrashev M.V., Mitov I.G. // Journal of Chemical Sciences. 2021. Vol. 133, Issue (1). 24. URL: <https://doi.org/10.1007/s12039-020-01882-2>.
 6. Copper ferrite heterojunction coatings empower polyetheretherketone implant with multimodal bactericidal functions and boosted osteogenicity through synergistic photo Fenton-therapy / Zhang J., Gao X., Ma D., Xie L., Deng Y. // Chemical Engineering Journal. 2021. Vol. 422. 130094. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130094>.
 7. Evolution of microstructure and mechanical properties of Cr ferrite/martensite steels with different Si content after long-term aging at 550 °C / Zhang Y., He H., Wang H., Chen G., An X., Wang Y. // Journal of Alloys and Compounds. 2021. Vol. 873. 159817. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159817>.
 8. Ferritization-Based Treatment of Zinc-Containing Wastewater Flows: Influence of Aeration Rates / Yemchura B., Kochetov G., Samchenko D., Prikhna T. // Environmental Science and Engineering. 2021. C. 171 – 176. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-51210-1_29.
 9. Magnetic properties of Fe-based soft magnetic composite with insulation coating by resin bonded Ni-Zn ferrite nanofibres / Birčáková Z., Füzér J., Kollár P., Bureš R., Fáberová M. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2019. Vol. 485, C. 1–7. URL: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.04.060>.
 10. Woven fabrics containing hybrid yarns for shielding electromagnetic radiation / Marciniak K., Grabowska K., Stempień Z., Rutkowska A., Taranek D. // Fibres and Textiles in Eastern Europe. 2016. Vol. 24(6), Issue 120. C. 109–115. URL: DOI: <https://doi.org/10.5604/12303666.1221744>.
 11. Radio-Absorbing Nanocoatings on Corrugated Surfaces / Antipov V.B., Potekaev A.I., Vorozhtsov A.B., Melentyev S.V., Tsyganok Y.I. // Russian Physics Journal. 2016. Vol. 59, Issue 8. C. 1225–1230. URL: DOI: <https://doi.org/10.1007/s11182-016-0895-4>.
 12. Krivenko P.V., Kovalchuk O., Kyrychok V.I., Guziy S.G. Sulfate resistance of alkali activated cements / Materials science forum. 2015. Vol. 865, pp. 95-106. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.865.95>.
 13. Kovalchuk O., Kochetov G., Samchenko D. Study of service properties of alkali-activated cement using wastewater treatment residues // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 708, Issue 1. 012087. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012087>.
 14. Development of a technology for utilizing the electroplating wastes by applying a ferritization method to the alkaline-activated materials / Kovalchuk O., Kochetov G., Samchenko D., Kolodko A. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 2/10, Issue 98. P. 27–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160959>.
 15. Development of ferritization processing of galvanic wastes with energy saving electromagnetic pulse activation of the process / Kochetov G., Prikhna T., Samchenko D., Kovalchuk O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 6, Issue 102. C. 6–14. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184179>.
 16. Yemchura B., Kochetov G., Samchenko D. Ferrit cleaning of waste water from zinc ions: influence of aeration rate // Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic. 2018. Vol. 30, C. 14–22. URL: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2018.30.14-22>.
 17. Kochetov G., Kovalchuk O., Samchenko D. Development Of Technology Of Utilization Of Products Of Ferritization Processing Of Galvanic Waste In The Composition Of Alkaline Cements // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 5, Issue (10–107). C. 6–13. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215129>.
 18. Статюха Г.О., Складанний Д.М., Бонаренко О.С. Вступ до планування оптимального експерименту // Навч. посібн. ІВЦ «Політехніка». 2011. С. 117.
 19. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних // Навч. посібн. 2011. С. 268.

Стаття надійшла до редакції 11.03.2021 і прийнята до друку після рецензування 17.06.2021

REFERENCES

1. Derzhstat Ukrainy. (1998–2021) [in Ukrainian].
2. Zueva, S., Ferella, F., Ippolito, N.M., Ruduka, E., & De Michellis, I. (2021). Wastewater Treatment from Galvanization Industry with Zinc recovery. *E3S Web of Conferences*, 247, 01064. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701064>.
3. Marcus, M.-I., Vlad, M., Deak, G., Moncea, A., Panait, A.-M., & Movileanu, G. (2020). Thermal stability of inorganic pigments synthesized from galvanic sludge. *Revista de Chimie*, 71(8), 13-20. <https://doi.org/10.37358/rc.20.8.8274>.
4. Vitkalova, I.A., Uvarova, A.S., Pikalov, E.S., & Selivanov, O.G. (2020) Lanthanum oxide application for modifying the properties of chemically resistant ceramics produced with galvanic sludge additive. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(8), 4544-4547. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/81882020>.
5. Tsvetkov, M.P., Milanova, M.M., Cherkezova-Zheleva, Z.P., Abrashev, M.V., & Mitov, I.G. (2021). Catalytic and photocatalytic properties of zinc-nickel ferrites. *Journal of Chemical Sciences*, 133(1), 24. <https://doi.org/10.1007/s12039-020-01882-2>.
6. Zhang, J., Gao, X., Ma, D., Xie, L., & Deng, Y. (2021). Copper ferrite heterojunction coatings empower polyetheretherketone implant with multi-modal bactericidal functions and boosted osteogenicity through synergistic photo Fenton-therapy. *Chemical Engineering Journal*, 422, 130094. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130094>.
7. Zhang, Y., He, H., Wang, H., Chen, G., An, X., & Wang, Y. (2021). Evolution of microstructure and mechanical properties of Cr ferrite/martensite steels with different Si content after long-term aging at 550 °C. *Journal of Alloys and Compounds*, 873, 159817. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159817>.
8. Yemchura, B., Kochetov, G., Samchenko, D., & Prikhna, T. (2021). Ferritization-Based Treatment of Zinc-Containing Wastewater Flows: Influence of Aeration Rates. *Environmental Science and Engineering*, 171-176. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51210-1_29.
9. Birčáková, Z., Fúzer, J., Kollár, P., Bureš, R., & Fáberová, M. (2019). Magnetic properties of Fe-based soft magnetic composite with insulation coating by resin bonded Ni-Zn ferrite nanofibres. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 485, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.04.060>.
10. Marciniak, K., Grabowska, K., Stempień, Z., Rutkowska, A., & Taranek, D. (2016). Woven fabrics containing hybrid yarns for shielding electromagnetic radiation. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 24(6), 120, 109-115. DOI: <https://doi.org/10.5604/12303666.1221744>.
11. Antipov, V.B., Potekaev, A.I., Vorozhtsov, A.B., Melentyev, S.V., & Tsyganok, Y.I. (2016). Radio-Absorbing Nanocoatings on Corrugated Surface. *Russian Physics Journal*, 59(8), 1225-1230. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11182-016-0895-4>.
12. Krivenko, P.V., Kovalchuk, O.Yu., Kyrychok, V.I., & Guziy, S.G. (2015). Sulfate resistance of alkali activated cements. *Materials science forum*, 865, 95-106. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.865.95>.
13. Kovalchuk, O., Kochetov, G., & Samchenko, D. (2019). Study of service properties of alkali-activated cement using wastewater treatment residues. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708 (1). 012087. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012087>.
14. Kovalchuk, O., Kochetov, G., Samchenko, D., & Kolodko, A. (2019). Development of a technology for utilizing the electroplating wastes by applying a ferritization method to the alkaline-activated materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/10, 98, 27-34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160959>.
15. Kochetov, G.M., Prikhna, T.O., Samchenko, D.M., & Kovalchuk, O.Yu. (2019). Development of ferritization processing of galvanic waste with energy saving electromagnetic pulse activation of the process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10, 102, 6-14. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184179>.

16. Yemchura, B., Kochetov, G., & Samchenko, D. (2018). Ferrit cleaning of waste water from zinc ions: influence of aeration rate. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*, 30, 14-22. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2018.30.14-22>.
17. Kochetov, G., Kovalchuk, O., & Samchenko, D. (2020). Development of Technology of Utilization of Products of Ferritization Processing of Galvanic. Waste In The Composition of Alkaline Cements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10-107), 6-13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215129>.
18. Statiukha, H.O., Skladannyi, D.M., & Bonarenko, O.S. (2011). Introduction to planning the optimal experiment. IVC «Politekhnik» [in Ukrainian].
19. Bakhrushyn, V.Ie. (2011). Methods of data analysis [in Ukrainian].

The article was received 11.03.2021 and was accepted after revision 17.06.2021

Самченко Дмитро Миколайович

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

Потапенко Леонід Іванович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Адреса робоча: 01033 Україна, м. Київ, вулиця Володимирська, 60
ORCID ID 0000-0003-0176-6094 **e-mail:** lpotapenko@ukr.net

Кочетов Геннадій Михайлович

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

Ковальчук Олександр Юрійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів
Київський національний університет будівництва і архітектури
Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31
ORCID ID 0000-0001-6337-0488 **e-mail:** kovalchuk.oyu@gmail.com

Васильєв Олексій

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

Нечипор Оксана Михайлівна

кандидат технічних наук, асистент Київського національного університету будівництва і архітектури
Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31
ORCID ID 0000-0001-8635-2231 **e-mail:** okschena@ukr.net

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

UDC 519.816. 351.862; 355.58

Oleksandr V. Nesterenko^{1,2}, Dr. Sc. (Tech.), Associate Professor, Senior Researcher
ORCID 0000-0001-5329-889X *e-mail*: on@rit.org.ua

¹ Ukrainian Research Center for Information Technology Development, Kyiv, Ukraine

² National Academy of Management, Kyiv, Ukraine

EXPERT ASSESSMENT METHOD OF CAPABILITIES CIVIL DEFENSE FORCES

Abstract. *The article proposes an approach to expert assessment of the capabilities of civil defense forces in multicriteria tasks. To implement the approach, taking into account the specifics of the subject area, the possibility of a method of supporting expert decisions, which combines the use of ontologies, voting procedures of experts, and relevant calculation procedures. The general scheme of the environment for making expert decisions on assessing the capabilities of civil defense forces on the example of emergency rescue formation is given. It is shown that the main normative sources for decision-making on capacity assessment are the catalog of basic components of capabilities and the list of criteria for their assessment. The choice is made from three alternatives – ready for action as intended, limited ready, or not ready. The problem of capacity assessment was set, a variant of the scale of quantitative characteristics of capabilities, and the level of expert assessment was proposed. The correct choice of the voting procedure of experts is substantiated, which contributes to finding an agreed solution. It is determined that to ensure high-quality elaboration of the task hierarchy, control, and increase the objectivity of the formation of characteristic vectors, the subject area must be presented in the form of an ontological information model. Attributive descriptions (properties) of the criteria are presented in the ontological database in the form of frames, the slots of which contain the corresponding numerical or linguistic data. Appropriate computer web tools have been proposed to support remote access capability assessment technology.*

Keywords: *civil defense; expert decisions; multicriteria; capabilities; ontology; voting*

О.В. Нестеренко^{1,2}

¹ Український науковий центр розвитку інформаційних технологій, м. Київ, Україна

² Національна академія управління, м. Київ, Україна

МЕТОД ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ СПРОМОЖНОСТЕЙ СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Анотація. *У статті запропоновано підхід до експертного оцінювання спроможностей сил цивільного захисту в багатокритеріальних задачах. Для реалізації підходу розглянуто, з урахуванням специфіки предметної області, можливості методу підтримки експертних рішень, що поєднує застосування онтологій, процедури голосування експертів та відповідних розрахункових*

процедур. Наведено загальну схему середовища прийняття експертних рішень щодо оцінювання спроможностей сил цивільного захисту на прикладі аварійно-рятувального формування. Показано, що основними нормативними джерелами для прийняття рішення щодо оцінювання спроможностей є каталог базових компонентів спроможностей та перелік критеріїв їх оцінки. Вибір здійснюється з трьох альтернатив – готове до дій за призначенням, обмежено готове або не готове. Здійснено постановку задачі оцінювання спроможностей, запропоновано варіант шкали кількісних характеристик спроможностей та рівні експертного оцінювання. Обґрунтовано правильний вибір процедури голосування експертів, що сприяє знаходженню узгодженого рішення. Визначено, що для забезпечення якісного опрацювання ієрархії задачі, контролю та підвищення об'єктивності формування векторів характеристик предметну область необхідно представити у вигляді онтологічної інформаційної моделі. Атрибутивні описи (властивості) критеріїв подаються в онтологічній базі даних у вигляді фреймів, у слотах яких містяться відповідні числові чи лінгвістичні дані. Для підтримки технології супроводу процесу оцінювання спроможностей в режимі віддаленого доступу запропоновано відповідний комп'ютерний веб-інструментарій.

Ключові слова: цивільний захист; експертні рішення; багатокритеріальність; спроможності; онтологія; голосування

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.88-101>

Вступ

В останні роки у секторі безпеки проводяться заходи щодо переходу до управління на засадах моделі визначення і оцінювання спроможностей (*Capability-Based Planning*), яка є базовою в країнах-членах НАТО, зокрема на основі європейського досвіду в рамках Механізму цивільного захисту ЄС. Питання щодо розвитку безпекових спроможностей держави викладено у Концепції розвитку сектору безпеки і оборони України, затвердженій указом Президента України. Спроможності у системі безпеки пов'язані з розумінням “стійкості” як “спроможності системи надійно функціонувати у штатному режимі, адаптуватися до умов, що постійно змінюються, протистояти та швидко відновлюватися після реалізації загроз” [1].

Огляд наукових публікацій показує, що існує достатньо досліджень стосовно визначення спроможностей окремих складових сектору безпеки і оборони України [2]. При цьому, у своїй більшості, наукові праці стосуються визначення та оцінювання спроможностей ЗС України, тоді як у сфері цивільного захисту (ЦЗ) дослідження стосовно визначення спроможностей сил та засобів ЦЗ тільки розпочато [3].

Відмічається, що в умовах сьогодення під час визначення переліку необхідних спроможностей безпекових структур головним питанням є раціональний підхід до планування ресурсів для формування та утримання відповідних організаційно-штатних структур, оснащення технічними засобами. Одним із ключових завдань цього процесу, що потребує практичного вирішення, є визначення переліку необхідних спроможностей сил ЦЗ та їх оцінювання.

Процес оцінювання та вибору оптимального варіанта складу сил передбачає використання відповідних аналітичних інструментів та спрямованість на визначення найраціональнішого варіанта створення необхідних спроможностей, які забезпечать виконання визначених завдань за

усіма сценаріями. Водночас характерними рисами управління в сфері ЦЗ на сучасному етапі є зростання динаміки всіх процесів, що знаходиться в відображенні у різкому збільшенні обсягів інформації, потрібної для опрацювання. У таких умовах предметній області притаманна значна чисельність аспектів або властивостей, що впливають на якість прийнятого рішення. В цілому це призводить до того, що задачі прийняття рішень щодо оцінювання спроможностей зазвичай є багатокритеріальними.

Дослідники та фахівці пропонують низку підходів до підтримки прийняття рішень у такому середовищі. Більшість з них спираються на евристичні інтерактивні (експертні) методи, які певною мірою дають змогу вирішувати поставлені завдання [4–8]. Це знаходить своє відображення й в нормативних документах [2]. Вважається, що необхідною умовою застосування багатокритеріальних методів є наявність множини критеріїв, за кожним з яких може бути оцінена кожна альтернатива, особа, що приймає рішення (ОПР), та група компетентних експертів, що «повністю володіють проблемою».

У сфері цивільного захисту країни дослідження питань планування на основі спроможностей розглядаються в роботах багатьох авторів, зокрема С.О. Андреева, П.Б. Волянського, Н.Г. Клименка, А.М. Любінського, В.М. Михайлова, А.А. Слюсара та ін. У цих роботах в основному аналізуються питання розроблення методичного апарату організації управління та оцінювання ефективності витрат на утримання і розвиток сил, способів виконання спільних завдань та ін. Однак, незважаючи на численні наукові доробки з означених питань, необхідно зауважити, що визначення способів формування та оцінювання спроможностей підрозділів ЦЗ стосовно виконання завдань у визначених умовах, аналізу і переведення якісних показників спроможностей у кількісні потребують окремого наукового дослідження.

Постановка задачі дослідження

Вимоги до спроможності можна сформулювати наступним чином – це кількісно-якісні показники, умови та критерії, які характеризують здатність конкретної організаційної структури ЦЗ (загону, частини, підрозділу тощо) до виконання визначених завдань протягом реального часу за певних умов обстановки, ресурсного забезпечення та відповідно до встановлених норм, статутів, положень [3].

Прийняття рішення, що зазвичай покладається в основу процедури оцінювання спроможностей, зводиться до оцінювання альтернатив на основі принципу індивідуально-колективної роботи експертів. В групі експертів кожен експерт може як надавати свої пропозиції щодо оцінювання альтернатив, так і брати участь у процесі обговорення пропозицій інших експертів. Оцінювання проводиться з використанням низки критеріїв для визначення відранжованої підмножини (переліку) альтернатив, найбільш прийнятних для вирішення задачі, серед яких на першому місці буде «найкраща» альтернатива, тобто зазвичай та, що задовольняє більшість експертів.

Такі методи вимагають значних інтелектуальних зусиль експертів, створюють організаційно-технічне навантаження на організаторів проведення експертного опитування та часто потребують чимало часу для проведення. Водночас необхідно зазначити, що ці методи є зручними для застосування лише на достатньо простих задачах. Для підтримки рішень у складних задачах

зі значною кількістю показників та критеріїв має застосовуватись автоматизація експертних процедур. Для цього вони мають бути перетворені в алгоритм, що реалізується програмним кодом, тобто мати формальне (алгоритмічне, математичне) представлення. Також на практиці під час розв'язання багатокритеріальних задач не завжди є можливість використання експертами визначених (наявних) техніко-економічних характеристик альтернатив, особливо в оперативних ситуаціях, що також, для запобігання необґрунтованим судженням експертів, потребує інформаційної підтримки на основі засобів автоматизації.

З метою оптимізації процесів експертної діяльності в подібних задачах, зокрема у сфері оборонного планування, дослідженням [9] запропоновано інтеграцію експертного методу оцінювання альтернатив з онтологічним представленням даних та візуалізацією процесу порівнянь. Результати дослідження свідчать про певну ефективність такого підходу. Тому доцільною є необхідність розроблення на основі подібних підходів відповідного методу для вирішення практичних задач у сфері ЦЗ, використання якого дозволило б експертній групі оперативно за пластичною уніфікованою процедурою «найліпший» спосіб виконати поставлені завдання.

Формалізований опис методу

Запропонований метод оцінювання спроможностей розглянемо на прикладі аварійно-рятувального формування (АРФ) як одного з видів сил ЦЗ. Прийняття рішень щодо оцінки спроможностей АРФ здійснюється у складному інформаційно насиченому середовищі, що пов'язане з розглядом варіантів готовності застосування різних складових АРФ для виконання завдань, визначених за прогнозованими сценаріями (рис. 1). При цьому потрібно забезпечити прийняття раціональних рішень щодо балансування між можливостями конкретного АРФ та цілями і завданнями його застосування.

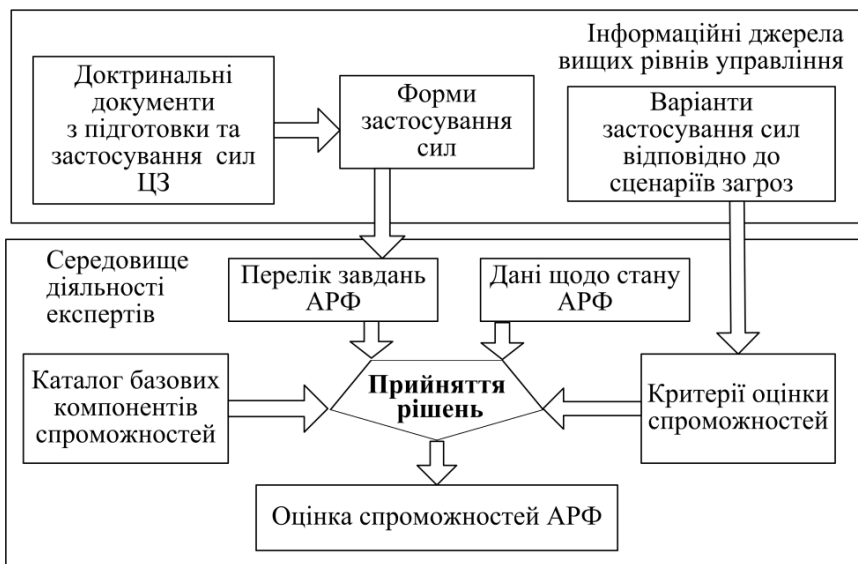


Рис. 1 – Середовище прийняття експертних рішень щодо оцінювання спроможностей АРФ

Зазвичай у такому середовищі оцінка альтернатив визначається за множиною критеріїв на основі значень оцінок за частковими показниками з використанням спеціально розроблених вербально-числових шкал, що встановлюють вагомість часткових показників. При цьому, як правило, показники групуються в блоки. Множину критеріїв (підкритеріїв), за якими мають оцінюватись альтернативи, формує особа, що приймає рішення (ОПР), або група експертів за її дорученням. Критерії утворюють ієрархію, причому вона може бути несиметричною. Для узагальненої оцінки беруться значення за укрупненими критеріями. У даному випадку оцінювання спроможностей АРФ критерії є заздалегідь сформульованими і представлені основним нормативним джерелом – Каталогом базових компонентів спроможностей (БКС), що включає Критерії оцінки БКС (КОБКС). Склад БКС наведено в табл. 1. Між цими десятима БКС розподілена певна кількість КОБКС. Приклад КОБКС, що стосуються БКС за номерами 7, 8 (умовні позначення ІНЗ, РЕЗ), наведено в табл. 2.

Таблиця 1 – Базові компоненти спроможностей

| № з/п | Назва БКС | Умовне позначення |
|-------|---------------------------|-------------------|
| 1. | Нормативне забезпечення | НОЗ |
| 2. | Організація | ОРГ |
| 3. | Планування та запобігання | ПЛЗ |
| 4. | Персонал | ПЕР |
| 5. | Професійна підготовка | ПРП |
| 6. | Готовність АРФ | ГОТ |
| 7. | Індивідуальний захист | ІНЗ |
| 8. | Ресурсне забезпечення | РЕЗ |
| 9. | Інфраструктура | ІНФ |
| 10. | Сумісність | СУМ |

Рішення щодо спроможностей АРФ пов'язане з визначенням готовності АРФ до виконання поставлених завдань і має бути прийняте на основі ще одного нормативу – Критеріїв інтегрованої оцінки спроможностей (КІО). КІО представляють перелік вимог за трьома альтернативами як результатами оцінювання спроможностей АРФ:

- 1) "готове до дій за призначенням";
- 2) "обмежено готове до дій за призначенням";
- 3) "не готове до дій за призначенням".

Альтернативи тут розуміються як необхідність вибору з можливостей, що виключають одна одну, тобто це вибір, що допускає одну з кількох можливостей.

КІО спроможностей АРФ пов'язані з оцінками, отриманими в результаті застосування КОБКС. Наприклад, для альтернативи "готове до дій за призначенням" такий критерій інтегрованої оцінки, як «коефіцієнт технічної готовності засобів індивідуального захисту рятувальників, радіаційного, хімічного та бактеріологічного захисту», має бути не нижче ніж 0,95, а для другої альтернативи – "обмежено готове до дій за призначенням" – має становити не нижче 0,9. Ці показники визначаються при оцінці критеріїв БКС 7.1, 7.2, 7.3.

Таблиця 2 – Критерії оцінки базових компонентів спроможностей

| № БКС | № критерію | Критерій | Умовне позначення |
|-------|-----------------------|--|-------------------|
| 7 | Індивідуальний захист | | ІНЗ |
| | 7.1 | стан засобів захисту органів дихання (респіратори, протигази, акваланги, саморятівники тощо) | СЗО |
| | 7.2 | стан засобів захисту шкіри (водолазні, протитеплові, газозахисні костюми тощо) | СЗШ |
| | 7.3 | стан реанімаційної апаратури (апарат штучної вентиляції легенів тощо) | СРА |
| | 7.4 | закріплення засобів індивідуального захисту за рятувальниками | ЗЗІ |
| | 7.5 | вміння особового складу застосовувати засоби індивідуального захисту | ВЗЗ |
| | 7.6 | ведення обліку та проведення періодичних перевірок засобів індивідуального захисту рятувальників | ВОб |
| 8 | Ресурсне забезпечення | | РЕЗ |
| | 8.1 | укомплектованість АРФ оснащенням та транспортними засобами згідно з табелем оснащення, затвердженим засновником АРФ; | ОСН |
| | 8.2 | технічна справність і готовність до застосування оснащення згідно з інструкцією з експлуатації | СПР |
| | 8.3 | своєчасність випробувань і профілактичних перевірок оснащення і матеріалів оперативного призначення та наявність відповідних документів | ПРФ |
| | 8.4 | наявність пристроїв та умов для проведення випробувань і перевірок обладнання у підрозділах | ВІР |
| | 8.5 | технічний стан транспортних засобів та наявність відповідних запасних частин до них | СТТ |
| | 8.6 | стан метрологічного обслуговування | СТМ |
| | 8.7 | закріплення спеціального технічного оснащення за рятувальниками | ЗКР |
| | 8.8 | робота командування АРФ з підтримки спеціального технічного оснащення у справному стані | КОМ |
| | 8.9 | забезпеченість необхідною спеціальною технікою, обладнанням та оснащенням, запасами матеріально технічних засобів та витратних матеріалів, а також фінансовими ресурсами | ЗРС |

Таким чином, загальну постановку задачі багатокритеріального оцінювання спроможностей АРФ можна сформулювати наступним чином.

Дано: 1) $A = \{A_n\}$, $n = (1,2,3)$ – множина альтернатив; 2) $K = \{K_i\}$, $i = (\overline{1, P})$ – множина КОБКС; 3) $K^I = \{K_j^I\}$, $j = (\overline{1, Q})$ – множина КЮ. (Значення P і Q визначаються діючими на даний час нормативними документами, наприклад, на момент написання статті $P = 64$).

Потрібно: 1) визначити кортеж оцінок за всіма КОБКС $S_i = \{S_1, S_2, \dots, S_p\}$; 2) ранжирувати альтернативи з урахуванням отриманих оцінок; 3) знайти інтегровану кардинальну оцінку кожної альтернативи з урахуванням відповідності КІО, тобто визначити множину $R = \{R_n\}$ рейтингів альтернатив.

Графічно постановка задачі оцінювання спроможностей АРФ на прикладі критеріїв, наведених у табл. 2, показана на рис. 2.

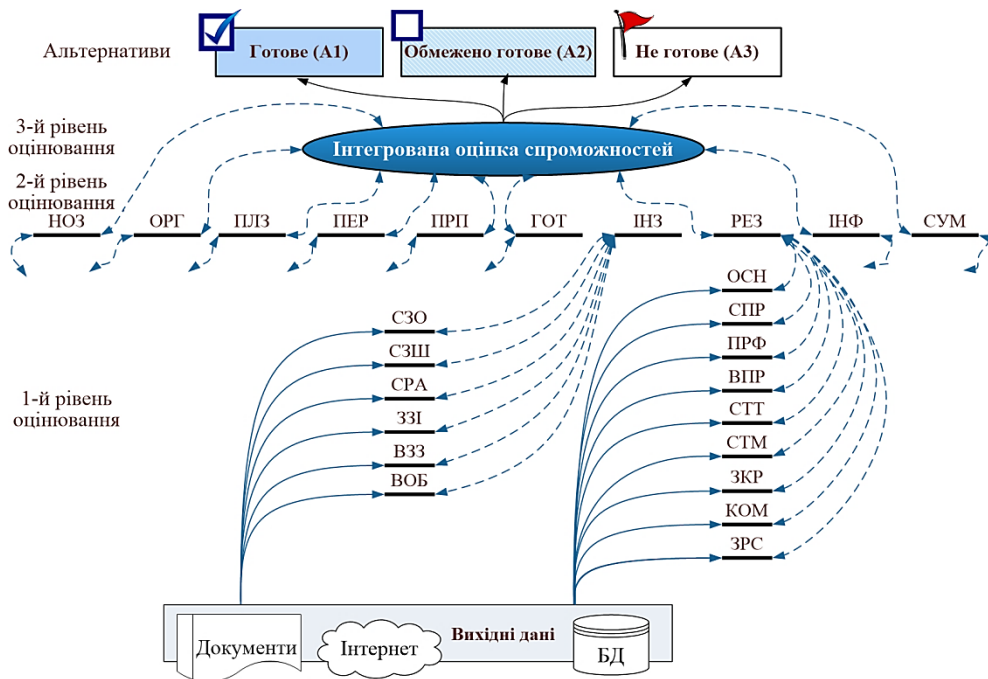


Рис. 2 – Приклад постановки задачі оцінювання спроможностей АРФ

На першому рівні оцінювання кожен експерт на підставі інспектування поточного стану АРФ та з використанням вихідних даних приймає рішення по кожному з КОБКС щодо кількісної оцінки. Вихідні дані визначають (деталізують) спроможності АРФ тактико-технічними характеристиками, стандартами, інструкціями щодо застосування тощо.

Кількісна оцінка може формуватися на основі вербально-числової шкали. Така шкала передбачає або бальні оцінки, що зазвичай будуються в діапазонах від 1 до 5, від 1 до 10, від 1 до 100, або на проміжку $[0,1]$, як, наприклад, шкала узагальненої функції бажаності Е. Харрінгтона. Метод Харрінгтона, в основі якого лежить ідея перетворення натуральних значень особистих відгуків експертів у безрозмірну шкалу бажаності (переваг), є достатньо поширеним в економетричних дослідженнях. Однак бальні оцінки є загальноприйнятими в експертних методах, при цьому відповідні шкали прописуються в нормативних документах сфери безпеки [2]. Варіант бальної шкали, що пропонується, та, для порівняння, шкали Харрінгтона наведено в табл. 3. Запропонована 100-бальна шкала є загальноживаною для оцінки якості певних досягнень. Вона є зручною й інтуїтивно зрозумілою для експертів.

Таблиця 3 – Варіант шкали кількісних характеристик спроможностей

| Варіанти найменування оцінки (якісні значення лінгвістичної змінної) | Бальна шкала | Шкала Е. Харрінгтона |
|---|-----------------|-------------------------|
| Відповідає нормативу (гарно, відмінно) | 90-100 | 0,8-1 |
| Значно краще середнього рівня (добре) | 60-89 | 0,63-0,8 |
| На середньому рівні (задовільно) | 40-59 | 0,37-0,63 |
| Гірше середнього рівня (незадовільно) | 20-39 | 0,2-0,37 |
| Не відповідає нормативу (погано) | 0-19 | 0-0,2 |

На другому рівні оцінювання проводиться оцінювання кожного БКС шляхом розрахунку середнього значення бальних оцінок КОБКС, отриманих на першому рівні:

$$O_i^{BKC} = \frac{\sum_{j=1}^{C_i} O_j^{K_i}}{C_i}, \quad (1)$$

де O_i^{BKC} – оцінка i -го БКС;

C_i – кількість КОБКС i -го БКС;

$O_j^{K_i}$ – оцінка за j -м КОБКС i -го БКС, отримана на першому рівні оцінювання.

Для попередньої орієнтації у наближенні до ранжирування альтернатив доцільно обрахувати й середню оцінку по всіх БКС, тобто

$$O^{BKC} = \frac{\sum_{i=1}^{10} O_i^{BKC}}{10}. \quad (2)$$

На третьому рівні проводиться порівняння отриманих оцінок першого рівня $O_j^{K_i}$ та середніх другого рівня O_i^{BKC} з нормативами Критеріїв інтегрованої оцінки спроможностей. У порівнянні беруть участь обидва типи оцінок, тому що перелік КЮ побудований таким чином, що включає характеристики як першого, так і другого рівнів. Для рейтингування порівняння починається з нормативів першої альтернативи ("готове до дій за призначенням") і робиться висновок щодо відповідності. У разі виявлення недотримання нормативних вимог переходять до КЮ за другою альтернативою. Якщо на цьому кроці також є негативні результати, розглядається вибір третьої альтернативи.

В результаті порівнянь та з урахуванням O^{BKC} експерт приймає рішення щодо рейтингу альтернатив і виносить на обговорення відповідну пропозицію щодо готовності АРФ. Далі відбувається груповий вибір однієї з альтернатив з пропозицій експертів щодо готовності АРФ.

Необхідно зазначити, що цей етап, пов'язаний з третім рівнем оцінювання, є найскладнішим. Річ у тому, що значна частина КЮ сформульовані у якісному узагальненому вимірі, що потребує узгодженого зіставлення експертами попередніх кількісних оцінок з цими описами. Крім того, кожен з експертів до

третього рівня оцінювання може підійти з різними результатами перших двох етапів, і, як наслідок, підсумкові пропозиції експертів також будуть відрізнятися. Виходячи з цього, можна зробити висновок про наявність принаймні двох суттєвих проблем, що ускладнюють розв'язання задачі.

Перш за все, очевидно, що які б підходи до оцінки спроможностей не використовувались, для підтримки прийняття рішень експертами у складному інформаційному просторі необхідно забезпечити збір, подання та аналіз на різних рівнях значної сукупності гетерогенних даних. Таким чином, для забезпечення якісного опрацювання та підвищення об'єктивності формування векторів характеристик предметну область (ПДО) необхідно представити у вигляді певної інформаційної моделі. Ця модель має найбільш точно відображати структуру та деталізацію об'єктів ПДО для чіткого визначення показників, характеристик, критеріїв та іншої інформації, адже від цього в першу чергу залежить якість отриманого рішення. Погрішності на етапі структуризації даних зазвичай призводять до утворення хибних моделей прийняття рішення, які зумовлюють отримання некоректних результатів.

Одним із методів, що дозволяє вирішувати зазначену проблему, є онтологічне представлення ПДО як детального опису предметної області за допомогою концептуальної схеми, що складається з ієрархічної структури даних та містить інформацію про властивості, а також про відношення між поняттями та об'єктами [10–12]. Саме формалізація подання відношень в онтології робить можливим їх використання для розв'язання широкого спектру задач. Онтологічний підхід дозволяє інтегрувати експертні знання на основі загального розуміння інформаційних структур, забезпечує багатократне застосування знань з ПДО, надає засоби для аналізу знань. При цьому важливо, що онтологія забезпечує підтримку прийняття рішень за рахунок можливості програмно-інтерпретованого комп'ютерного подання знань про конкретну ПДО і, як наслідок, застосування для аналізу відповідних інформаційних технологій. Атрибутивні описи (властивості) критеріїв можуть бути представленими в онтологічній базі даних у вигляді фреймів, у слотах яких містяться відповідні числові чи лінгвістичні дані [13]. Ці дані мають використовуватись експертами в процесі прийняття ними рішень щодо оцінювання спроможностей.

Другою з вищезгаданих проблем є узгодження індивідуально-колективної роботи в групі експертів. В процесі розгляду питання кожен експерт повинен мати право як надавати власні пропозиції щодо оцінювання характеристик спроможностей, так і брати участь в ітераційному процесі оцінювання пропозицій інших експертів з метою вибору найбільш прийняттого варіанта.

Найбільш розповсюдженим способом прийняття колективного рішення в таких експертних групах є голосування. Хоча в літературі описано багато десятків процедур голосування, які істотно відрізняються одна від одної (метод відносної більшості, метод схвального голосування, метод Борда, метод Кондорсе та інші), на практиці використовуються лише кілька стандартних процедур. Правильний вибір процедури голосування сприяє знаходженню узгодженого рішення. Тим не менш неможливо виділити в деякому сенсі кращу процедуру, що має переваги в порівнянні з усіма іншими процедурами, або розділити всі ситуації, що виникають, на типові групи і для кожної з них вказати кращу процедуру. Добір процедури голосування зазвичай пов'язаний зі специфікою питань, що розглядаються.

З урахуванням цього та вимоги спрощення для експертів процесу оцінювання доцільним є вибір методу голосування, за яким кожний експерт має право підтримати одну або декілька альтернатив та може зазначити проти якої альтернативи він не заперечує. Це дозволяє приймати експертам рішення, найближчі до консенсусного. Якщо ж за цим методом більш ніж одна альтернатива здобуде перевагу, можна використати як додатковий такий метод, за яким кожний експерт має проголосувати тільки за одну альтернативу.

Отже, загальний алгоритм методу проведення оцінювання спроможностей АРФ, що пропонується, може бути представлений таким чином (рис. 3).

Для підтримки технології експертного супроводу процесу оцінювання спроможностей як найпростіший варіант достатньо застосування локальних комп'ютерних засобів, зокрема електронних таблиць (Excel, Calc), які дозволяють автоматизувати розрахунки та візуалізувати результати у вигляді відповідних таблиці та діаграм. Але більш доцільним є створення комплексного комп'ютерного інструментарію, що відповідатиме алгоритму, наведеному на рис. 3. Для забезпечення режиму віддаленого доступу інструментарій має створюватись за вимогами веб-технологій. Питання застосування інформаційних технологій в управлінні оборонними ресурсами значною мірою опрацьовані, що дозволяє створювати високоефективний інструментарій управління і в сфері цивільного захисту [14].

Веб-інструментарій експертного методу, що пропонується, має підтримувати функціональність голосування та розрахункових процедур з рольовим механізмом доступу експертам, кінцевим користувачам та персоналу, що здійснює адміністрування, з відповідними повноваженнями щодо доступу до окремих ресурсів та функціональності.

Як приклад формалізований опис процедур «Подання первинної пропозиції оцінки» та «Процес голосування» у вигляді діаграм бізнес-процесів за стандартизованою нотацією BPMN 2.0 наведено на рис. 4, 5.

Діаграма процесу голосування проілюстрована прикладом для трьох експертів успішного голосування (два підтримали пропозицію, один утримався) і неуспішного, тобто з відхиленням пропозиції (один підтримав, два проти). У випадку неуспішного голосування експерти повинні обговорити ситуацію, подати повторні пропозиції і знов проголосувати.

Для збереження і використання вихідних даних має бути створена відповідна база даних. При цьому веб-інструментарій має реалізовувати процедуру наповнення бази на основі онтологічної моделі даних. Процедури оцінювання мають бути задокументованими і затверджені з використанням електронного цифрового підпису. Водночас мають збиратися відповідні статистичні дані і відображатися у вигляді таблиць та діаграм.

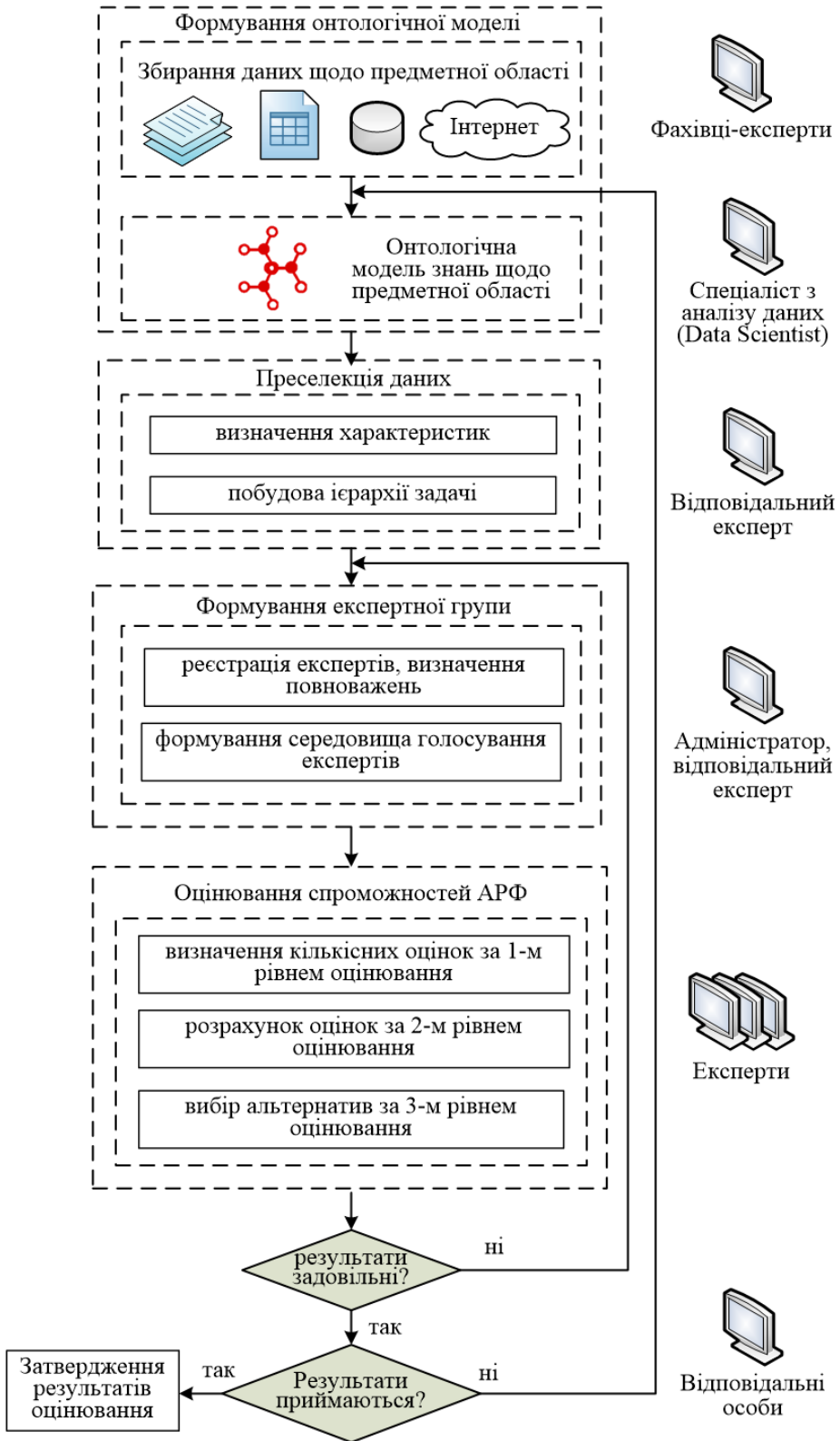


Рис. 3 – Алгоритм проведення оцінювання спроможностей АРФ

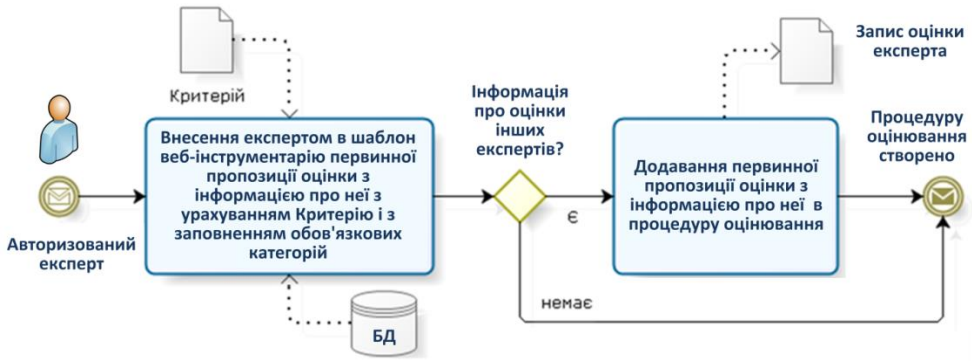


Рис. 4 – Формалізований опис процедури «Подання первинної пропозиції оцінки»

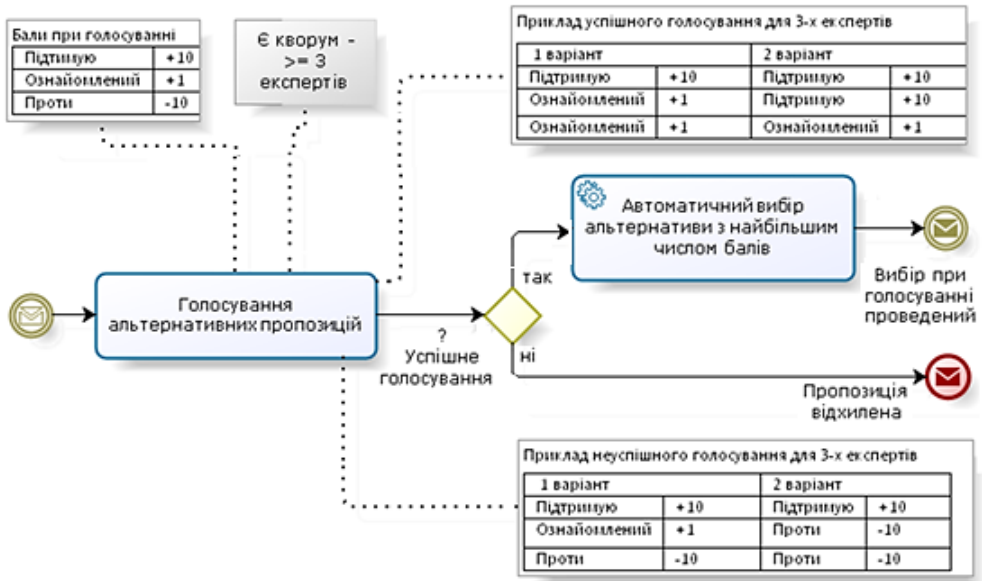


Рис. 5 – Формалізований опис процедури «Процес голосування»

Висновки

У процесі поступового переходу до методології планування на основі спроможностей у сфері цивільного захисту необхідно напрацювати та визначити підходи щодо експертного оцінювання спроможностей сил ЦЗ на основі раціонального планування, формування та утримання відповідних організаційно-штатних структур, оснащення технічними засобами.

Розроблені з урахуванням таких вимог методи оцінювання спроможностей сприятимуть більш розбірливому підходу до показників та критеріїв оцінювання спроможностей ЦЗ, дослідженню властивостей і вимог до спроможностей, їх систематизації за функціональним призначенням та науковому обґрунтуванню основних базових компонентів і функціональних груп спроможностей у сфері ЦЗ.

В даному дослідженні з урахуванням специфіки предметної області розглянуто метод підтримки експертних рішень, що поєднує застосування

онтологій, голосування експертів та відповідних розрахункових процедур. Метод проілюстровано на прикладі оцінювання спроможностей аварійно-рятувальних формувань. Запропоновано створення відповідного веб-інструментарію, що має забезпечувати підтримку технології експертного супроводу процесу оцінювання спроможностей в режимі віддаленого доступу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Суходоля О.М. Адаптація системи національної безпеки до викликів часу: формування механізмів забезпечення національної стійкості. Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах: Матеріали 21 Всеукраїнської науково-практичної конференції (за міжнародною участю). Електронне видання комбінованого використання. Київ: ІДУЦЗ, 2019. С. 260-271.
2. Оборонна реформа: системний підхід до оборонного менеджменту: монографія / А. Павліковський та ін. За заг. ред. д. військ. н. А. Сиротенка. Київ: НУОУ, 2020. 274 с.
3. Коробкін В. Ф., Слюсар А. А. Спроможності у сфері цивільного захисту: пошук категоріально-поняттєвого апарату. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2020, № 2 (10). С. 61-68.
4. Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах / Э.Г. Петров и др. Херсон: Олди-плюс, 2003. 380 с.
5. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. Київ: ТОВ «Маклаут», 2008. 444 с.
6. Воронін А.М., Зіатдінов Ю.К., Климова А.С. Інформаційні системи прийняття рішень. Київ: Вид-во «НАУ-друк», 2009. 136 с.
7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.
8. Снитюк В.Е., Быченко А.А., Джулай А.Н. Эволюционные технологии принятия решений при пожаротушении: монография / Науч. ред. Тимченко А. А. Черкасы: Маклаут, 2008. 267 с.
9. Nesterenko O., Netesin I., Polischuk V., Trofymchuk O. Development of a procedure for expert estimation of capabilities in defense planning under multicriterial conditions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, № 4/2 (106). P. 33-43. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208603>
10. Палагин А.В., Петренко Н.Г. К вопросу системно-онтологической интеграции знаний предметной области. Математические машины и системы. 2007. № 3,4. С. 63–75.
11. Стрижак О.Є. Засоби онтологічної інтеграції і супроводу розподілених просторових та семантичних інформаційних ресурсів. Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. 2013, вип. 12. С. 166-178.
12. Нестеренко О.В. Онтолого-керовані інформаційні системи в адміністративному управлінні. Математичне моделювання в економіці. 2019, № 2 (15). С. 57-68. DOI: <https://doi.org/10.35350/2409-8876-2019-15-2-58-69>.
13. Литвин В.В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 240 с.
14. Поліщук В.Б., Нетесін І.Є., Нестеренко О.В. Інформаційні технології в управлінні оборонними ресурсами: методологічний контекст та приклади практичної реалізації. Частина 1 : Монографія / За ред. В.Б. Поліщука. Київ: УкрНЦ РІТ, 2019. 120 с.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2021 і прийнята до друку після рецензування 17.08.2021

REFERENCES

1. Sukhodolia, O.M. (2019). Adaptation of the national security system to the challenges of time: formation of mechanisms to ensure national stability. In *Development of civil defense in modern security conditions: Proceedings of the 21st All-Ukrainian scientific-practical conference (with international participation)* (pp. 260-271). Electronic edition of combined use. Kyiv: IDUCZ [in Ukrainian].
2. Pavlikovskyi, A. et al. (2020). *Defense reform: a systematic approach to defense management: a monograph*. (A. Syrotenko, Ed.). Kyiv: NUOU [in Ukrainian].
3. Korobkin, V.F., & Sliusar, A.A. (2020). Capabilities in the field of civil protection: search for a categorical-conceptual apparatus. *Scientific Bulletin: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 2(10), 61-68 [in Ukrainian].
4. Petrov, E.H. et al. (2003). *Methods and means of decision-making in socio-economic and technical systems*. Kherson: Oldy-plius [in Russian].
5. Hnatiienko, H.M., & Snytiuk, V.Ie. (2008). *Expert decision-making technologies: Monograph*. Kyiv: TOV «Maklout» [in Ukrainian].
6. Voronin, A.M., Ziatdinov, Yu.K., & Klymova, A.S. (2009). *Information systems for decision making*. Kyiv: Vyd-vo «NAU-druk» [in Ukrainian].
7. Saaty, T. (1993). *Decision making. Analytic Hierarchy Process*. Moskva: Radyo y sviaz [in Russian].
8. Snityuk, V.E. Bychenko, A.A., & Dzhulay, A.N. (2008). *Evolutionary technologies of decision-making in firefighting: a monograph*. (A.A. Timchenko, Ed.). Cherkassy: Maklout [in Russian].
9. Nesterenko, O., Netesin, I., Polishchuk, V., & Trofymchuk, O. (2020). Development of a procedure for expert estimation of capabilities in defense planning under multicriterial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/2(106), 33-43. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208603>
10. Palagin, A.V., & Petrenko, N.G. (2007). On the issue of system-ontological integration of subject area knowledge. *Matematicheskie mashiny i sistemy*, 3,4, 63-75 [in Russian].
11. Stryzhak, O.Ie. (2013). Means of ontological integration and support of distributed spatial and semantic information resources. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia*, 12, 166-178 [in Ukrainian].
12. Nesterenko, O.V. (2019). Ontologically controlled information systems in administrative management. *Matematychni modeliuvannia v ekonomitsi*, 2(15), 57-68. DOI: <https://doi.org/10.35350/2409-8876-2019-15-2-58-69> [in Ukrainian].
13. Lytvyn, V.V. (2011). Knowledge base of intelligent decision support systems. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki [in Ukrainian].
14. Polishchuk, V.B., Netesin, I.Ie., & Nesterenko, O.V. (2019). Information technologies in defense resources management: methodological context and examples of practical implementation. Part 1: Monograph. (V.B. Polishchuk, Ed.). Kyiv: UkrNC RIT [in Ukrainian].

The article was received 24.05.2021 and was accepted after revision 17.08.2021

Нестеренко Олександр Васильович

доктор технічних наук, доцент, старший дослідник, Заслужений працівник сфери послуг України, професор кафедри комп'ютерних наук, інформаційних технологій та системного аналізу Національної академії управління, провідний науковий співробітник Українського наукового центру розвитку інформаційних технологій Міністерства освіти і науки України

Адреса робоча: 03127 Україна, м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 44

ORCID 0000-0001-5329-889X **e-mail:** on@rit.org.ua

UDC 330.34.01 : 332.2 : 626.81 : 631.6.02

Oleksiy V. Petrochenko¹, PhD, Director of the Institute of Innovative Education of Kyiv National University of Construction and Architecture
ORCID ID: 0000-0003-2184-4811 *e-mail*: a_petr89@ukr.net

Vyacheslav I. Petrochenko², PhD, Leading researcher at the Institute of Water Problems and Land Reclamation
ORCID ID: 0000-0001-8306-2554 *e-mail*: v_petr47@ukr.net

¹ Institute of Innovative Education of Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

² Institute of Water Problems and Land Reclamation, Kyiv, Ukraine

METHODOLOGY OF INTEGRATED LAND AND WATER RESOURCES MANAGEMENT

***Abstract.** The problem of creating a methodology for integrated management of land and water resources as one of the important components of the methodology of sustainable development is considered. The existing methodological approaches to integrated land and water resources management are analyzed and their main shortcomings are revealed. The methodology of integrated land and water resources management is based on contour-reclamation and functional-cost management principles. Analogs of the first, contour-ameliorative, principle are chosen the basic provisions of contour-ameliorative agriculture and the basin principle of water resources management. This principle consists of the contour principle, according to which integrated land management is carried out in the contours of certain land plots, and water resources – in the contours of river basins or sub-basins, and reclamation principle, according to which integrated management is carried out by developing and implementing measures to improve social, environmental and economic indicators of land and water use, using the term "reclamation" in a broader sense (Latin melioratio – improvement). The functional-cost principle is chosen as the main principle of the methodology of integrated resource management. The foundations of scientific and methodological tools of integrated management of land and water resources in the form of algorithms of local, zonal and regional integrated management of land and water resources are laid. The obtained research results are recommended for research institutions, design and environmental organizations, as well as specialists who deal with the problem of identifying and implementing strategic priorities for sustainable development of land and water resources.*

***Key words:** design and management decisions; functional effect; income; averted losses; profitability; management algorithms*

© О.В. Петроченко, В.І. Петроченко, 2021

О.В. Петроченко¹, В.І. Петроченко²

¹ Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

² Інститут водних проблем і меліорації НААН України, м. Київ, Україна

МЕТОДОЛОГІЯ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ І ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ

***Анотація.** Розглянуто проблему створення методології інтегрованого управління земельними і водними ресурсами як одну з важливих складових методології сталого розвитку. Проаналізовано існуючі методологічні підходи до інтегрованого управління земельними і водними ресурсами та виявлено їх основні недоліки. В основу методології інтегрованого управління земельними і водними ресурсами покладено контурно-меліоративний і функціонально-вартісний принципи управління. Аналогами контурно-меліоративного принципу обрано положення контурно-меліоративного землеробства та басейновий принцип управління водними ресурсами. Контурно-меліоративний принцип складається з контурного принципу, за яким інтегроване управління земельними ресурсами здійснюють в контурах певних земельних ділянок, а водними ресурсами – в контурах річкових басейнів, а також меліоративного принципу, за яким інтегроване управління земельними і водними ресурсами здійснюють шляхом розробки і впровадження заходів поліпшення використання ресурсів, застосовуючи термін «меліорація» у широкому сенсі (лат. melioratio – поліпшення). Функціонально-вартісний принцип обрано за основний принцип методології інтегрованого управління ресурсами. За функціонально-вартісним принципом обрано цільовий показник інтегрованого управління – максимальне значення індексу рентабельності інвестицій у заходи поліпшення використання ресурсів, яке знаходять з цільової функції, представлені у вигляді відношення оцінених у грошових одиницях позитивних функціональних ефектів заходів до витрат на їх здійснення. Закладено основи науково-методичного інструментарію інтегрованого управління земельними і водними ресурсами у вигляді алгоритмів локального, зонального і регіонального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами. Отримані результати досліджень рекомендовано для науково-дослідних установ, проектних та природоохоронних організацій, а також фахівців, які займаються проблемою визначення та реалізації стратегічних пріоритетів сталого розвитку земельних і водних ресурсів.*

***Ключові слова:** рентабельні і управлінські рішення; функціональний ефект; дохід; відвернені збитки; рентабельність; алгоритми управління*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.102-120>

Вступ

Багатство будь-якої країни та добробут її жителів визначається двома головними показниками – природними ресурсами та вмінням ефективно використовувати ресурси. Якщо кожна країна має певні природні ресурси через своє історичне минуле, то від вміння використовувати ці ресурси залежить як сьогодення, так і майбутнє країни. До основних природних ресурсів сільськогосподарського виробництва належать земля і вода. Земля є головним засобом сільськогосподарського виробництва, а вода – найбільшим

структурним компонентом та важливим елементом багатьох фізіологічних процесів живих організмів. Вода становить 75–90% маси рослин. Крім того, рослини для утворення 1 г своєї сухої маси протягом вегетаційного періоду витрачають 400–800 г води на транспірацію.

Проблемі підвищення ефективності використання земельних і водних ресурсів присвячено багато наукових праць, виконаних за різними напрямками, з яких доцільно розглянути два. За першим напрямком розроблювались інтегровані підходи до управління земельними і водними ресурсами [1–3], а за другим – виконувались дослідження щодо створення у сільськогосподарському виробництві ринку інновацій та науково-технічних парків [4–6]. Проте критичний аналіз раніше проведених досліджень свідчить про складність практичного використання кінцевих результатів цих досліджень, оскільки вони містять сукупність посилань, загальних рекомендацій, порад та пропозицій без викладення придатних для практичного застосування алгоритмів управління земельними і водними ресурсами. Через відсутність належної методологічної бази та методичного забезпечення проектні і управлінські рішення використання земельних і водних ресурсів недостатньо ефективні, оскільки залежать від суб'єктивного чинника – досвіду та інтуїції проектувальників і менеджерів. Для рішення продовольчої програми України, екологічного оздоровлення довкілля та забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва і водного господарства виникає актуальна потреба удосконалення існуючих методологічних основ та розробки науково-методичного інструментарію інтегрованого управління земельними і водними ресурсами.

Мета дослідження – створення нової методології та основних алгоритмів інтегрованого управління земельними і водними ресурсами.

Методи досліджень. В дослідженнях використано метод аналізу і синтезу складних систем, метод функціонально-вартісного аналізу, а також загальнонауковий метод аналогій, за яким було обрано два аналоги управління земельними і водними ресурсами – наукові засади контурно-меліоративного землеробства і басейновий принцип управління водними ресурсами.

Результати дослідження. Нова методологія управління земельними і водними ресурсами створена за результатами наукових досліджень, проведених за наступними етапами.

1. Обґрунтування актуальності впровадження в Україні інтегрованого управління земельними ресурсами.

За даними Державної служби статистики України за 2018 рік в Україні площа сільськогосподарських угідь дорівнювала 41 489,3 тис. га і становила 68,7% загальної площі території держави [7]. За обсягом сільськогосподарських угідь у розрахунку на 1 жителя Україна має показник 0,93 га і серед інших країн світу посідає четверте місце після Канади (1,73 га), Росії (1,51 га), США (1,26 га). За обсягом ріллі на 1 жителя Україна з показником 0,74 га посідає друге місце після Канади (1,25 га) [7, 8]. Враховуючи також те, що в Україні сконцентрована значна частина (3%) світових запасів чорноземів та інших найродючіших різновидів ґрунтів, можна стверджувати, що Україна за кількістю і якістю земельних ресурсів займає одну з лідируючих позицій у світі. Однак, незважаючи на високий земельно-ресурсний потенціал, віддача 1 га сільськогосподарських угідь в Україні

становить 270–320 євро, а в країнах ЄС цей показник перевищує 2000 євро [9]. Отже, актуальною проблемою в Україні є підвищення рентабельності сільськогосподарського використання земельних ресурсів. Для вирішення цієї проблеми, а також проблеми екологічного оздоровлення земель в аграрному виробництві виникає потреба розробки та впровадження принципово нової методології та науково-методичного інструментарію інтегрованого управління земельними ресурсами.

2. Обґрунтування актуальності впровадження в Україні інтегрованого управління водними ресурсами.

Залежно від річних сум опадів річковий стік України коливається від 48,8 до 83,5 млрд м³ [10]. За міжнародними нормами забезпеченість країн водними ресурсами оцінюється показником *w* місцевого річкового стоку, що припадає на 1 жителя. Згідно зі стандартами Європейської економічної комісії ООН, держави, у яких показник *w* < 1,7 тис. м³ на 1 жителя, вважаються незабезпеченими власними водними ресурсами. У середньому по території України показник *w* становить 1,1 тис. м³ на 1 жителя, а у зв'язку з глобальним потеплінням він має тенденцію до зниження [11]. У маловодні роки показник *w* становить 0,52 тис. м³ на 1 жителя. Отже, для забезпечення потреб населення, сільського господарства та промисловості Україна не має достатньої кількості власних водних ресурсів.

Проте, якщо проаналізувати забезпеченість окремих регіонів України власними водними ресурсами місцевого річкового стоку (табл. 1), можна встановити, що показник *w* по регіонах України розподілений дуже нерівномірно – від 0,3 тис. м³ на 1 жителя в південно-східних областях до 7 тис. м³ на 1 жителя у західних областях [12].

Таблиця 1 – Забезпеченість регіонів України власними водними ресурсами місцевого річкового стоку (*w*, тис. м³/рік на 1 жителя)

| Області (регіони) України | | | | | | | |
|---------------------------|------------|----------------------|------------|-----------------------------------|-----------|---------------------|-----------|
| Південні | <i>w</i> | Східні та центральні | <i>w</i> | Північно-східні, північно-західні | <i>w</i> | Північні та західні | <i>w</i> |
| Автономна республіка Крим | 0,3...0,45 | Луганська | 0,45...1,1 | Полтавська | 1,1...1,7 | Чернігівська | 2,0...3,0 |
| | | Харківська | | Вінницька | | Житомирська | |
| Херсонська | | Кіровоградська | | Тернопільська | | Волинська | |
| Донецька | | Черкаська | | Хмельницька | | Івано-Франківська | |
| Миколаївська | | Київська | | Чернівецька | | | |
| Запорізька | | 1,7...2,0 | | Сумська | 3,0...7,0 | Закарпатська | |
| Дніпропетровська | | | | Львівська | | | |
| Одеська | | | | Рівненська | | | |

w < 1,1

w > 1,1

Нерівномірність розподілу забезпеченості регіонів України власними водними ресурсами пояснюється тим, що близько 70% річкового стоку

припадає на північний захід, де проживає близько 40% населення, а на південно-східні території, де проживає майже 60% населення країни, припадає 30% річкового стоку. Така ситуація пояснює існування в Україні двох протилежних за характером впливу на життєдіяльність людини та довкілля проблем води [13]. Перша проблема – це проблема гострого дефіциту води у південно-східних регіонах України. Друга проблема – це проблема тимчасового надлишку води у вигляді шкідливих проявів як поверхневої, так і ґрунтової води.

Шкідлива дія поверхневої води відбувається переважно в Карпатському регіоні у вигляді затоплення паводками і повеннями агроландшафтів і сільських населених пунктів, що призводить до втрати врожаїв, пошкодження житла, інженерної інфраструктури, об'єктів господарського і рекреаційного призначення тощо.

Шкідлива дія ґрунтової води відбувається у вигляді підтоплення населених пунктів, сільгоспугідь, промислових майданчиків, заглиблених інженерних споруд, що негативно впливає на умови проживання населення та призводить до пошкодження та руйнування підтоплених об'єктів. Найбільш небезпечним проявом шкідливої дії ґрунтової води є зсуви та селі.

У зв'язку з цим інтегроване управління водними ресурсами в Україні повинно бути орієнтоване на рішення економічно доцільними та екологічно безпечними шляхами двох основних, пов'язаних з водою проблем – проблеми забезпечення населення, аграрного виробництва та промисловості дешевою товарною водою, а також проблеми захисту довкілля, сільгоспугідь, населених пунктів, промислових об'єктів та об'єктів інфраструктури від шкідливої дії поверхневої і ґрунтової води.

3. Обґрунтування цільового показника, основних принципів, об'єкта та предмета інтегрованого управління земельними і водними ресурсами.

Цільовим показником (цільовим індикатором) інтегрованого управління земельними і водними ресурсами обрано максимальне значення індексу рентабельності інвестицій, що вкладають в заходи поліпшення використання ресурсів. Цільовий показник інтегрованого управління досягається шляхом сумісного застосування принципу комплексності, принципу інтегрованості, а також контурно-меліоративного та функціонально-вартісного принципів.

Принцип комплексності – це принцип врахування повного, необхідного для досягнення цільового показника інтегрованого управління, комплексу природно-кліматичних та екологічних показників земельних і водних ресурсів, а також техніко-економічних параметрів систем використання цих ресурсів.

Принцип інтегрованості – це принцип виявлення, детермінації та алгоритмізації структурних і функціональних взаємозв'язків комплексу показників та параметрів земельних і водних ресурсів, а також систем їх використання.

Контурно-меліоративний принцип – це принцип інтегрованого управління, що містить дві взаємопов'язані складові – контурний принцип і меліоративний принцип. За контурним принципом інтегроване управління земельними ресурсами здійснюють в контурах певних земельних ділянок, а водними ресурсами – в контурах річкових басейнів або суббасейнів. За меліоративним принципом інтегроване управління земельними і водними ресурсами здійснюють шляхом розробки і впровадження заходів поліпшення

стану ресурсів та систем їх використання. При цьому, термін «меліорація» слід застосовувати у широкому сенсі, а саме, як «поліпшення» (лат. *melioratio* – поліпшення). Аналогами контурно-меліоративного принципу є принципові положення контурно-меліоративного землеробства та басейновий принцип управління водними ресурсами. Впровадження в Україні у другій половині ХХ століття контурно-меліоративного землеробства вважається одним з найбільш вагомих досягнень вітчизняної аграрної науки [14–16], а басейновий принцип управління водними ресурсами покладено в основу сучасної водогосподарської політики [17]. Проте, методичні основи контурно-меліоративного землеробства не містять універсального алгоритму виконання управлінських дій, вони обмежені здійсненням переважно ґрунтозахисних заходів, а басейновий принцип управління водними ресурсами можна визнати тільки як принцип обрання об'єкта управління (річковий басейн, суббасейн), що має певний контур, але це не принцип, який може бути покладений в основу алгоритму виконання управлінських дій. Таким чином, в обох аналогах присутній контурний принцип управління ресурсами. Меліоративний принцип присутній тільки в методичних основах контурно-меліоративного землеробства, але в обмеженому його використанні. Басейновий принцип не містить будь-яких рекомендацій щодо виконання управлінських дій в тій чи іншій ситуації, він методично не пов'язаний з меліоративним принципом – принципом поліпшення екологічного стану водних ресурсів та систем їх господарського використання.

Функціонально-вартісний принцип. Цей принцип відомий як принцип функціонально-вартісного аналізу проектів здійснення певних заходів. Функціонально-вартісний принцип приймається за основний принцип інтегрованого управління. За цим принципом обрано цільовий показник інтегрованого управління, який відповідає максимальному значенню відношення оцінених у грошових одиницях позитивних соціального, екологічного і економічного ефектів від здійснення заходів поліпшення використання ресурсів до витрат на здійснення цих заходів.

Об'єктом інтегрованого управління земельними ресурсами є різні за масштабом та призначенням ділянки земель сільськогосподарського призначення з розташованими в межах (контурах) цих ділянок основними засобами аграрного виробництва (будівлі, машинно-тракторні парки, тваринницькі ферми, робоча та продуктивна худоба, внутрішньогосподарські меліоративні системи тощо), а також ділянки земель рекреаційного призначення з розташованими в межах цих ділянок об'єктами рекреації.

Об'єктом інтегрованого управління водними ресурсами є річкові басейни або ділянки річкових басейнів з розташованими в їх межах (контурах) водними ресурсами – підземними, ґрунтовими і поверхневими водами, що знаходяться у водних та водогосподарських об'єктах, а також самі водні об'єкти (річки, озера) та водогосподарські об'єкти (штучні водойми, греблі, зрошувальні і осушувальні канали, водогони, системи водопостачання, гідротехнічні споруди та системи захисту від шкідливої дії поверхневої і ґрунтової води тощо).

Предметом інтегрованого управління земельними і водними ресурсами є заходи поліпшення соціальних, екологічних та економічних показників різних за масштабом та призначенням ділянок земель сільськогосподарського та рекреаційного призначення або ділянок річкових басейнів, а також

розташованих в межах (контурах) цих ділянок об'єктів аграрного виробництва, об'єктів рекреації, об'єктів водного господарства. В подальшому заходи поліпшення використання ресурсів слід розуміти як заходи інтегрованого управління земельними і водними ресурсами, або просто заходи. При цьому заходи інтегрованого управління земельними і водними ресурсами слід розрізняти як заходи локального, зонального і регіонального управління земельними і водними ресурсами.

4. Алгоритм локального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами.

Об'єктом локального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами обрано локальний ресурс s у вигляді s -ї ділянки земель, у тому числі земель водного фонду, з розташованими в контурі цієї ділянки посівами сільськогосподарських культур, багаторічними насадженнями, об'єктами рекреації, річками, озерами, штучними водоймами, греблями, меліоративними каналами, системами зрошення та осушення тощо.

Предметом локального інтегрованого управління земельним або водним ресурсом s є заходи управління ресурсом s , що сприяють досягненню комплексу позитивних ефектів:

$$P_s = P_s^{Cи} + P_s^{Eкл} + P_s^{Eкн}, \quad (1)$$

де P_s , $P_s^{Cи}$, $P_s^{Eкл}$ і $P_s^{Eкн}$ – загальний, соціальний, екологічний і економічний позитивний ефект від здійснення заходів управління ресурсом s (заходів поліпшення використання ресурсу s).

Загальний позитивний ефект P_s складається з двох якісно відмінних частин:

$$P_s = D_s + BЗ_s, \quad (2)$$

де D_s і $BЗ_s$ – загальний дохід і загальні відвернені збитки.

Загальний дохід D_s – це визначений у грошових одиницях дохід або додатковий дохід від здійснення комплексу заходів поліпшення використання ресурсу s . Загальні відвернені збитки $BЗ_s$ – це визначена у грошових одиницях частина загального позитивного ефекту від здійснення превентивних заходів, призначених для відвернення комплексу соціальних, екологічних і економічних збитків в контурі ресурсу s . Загальні відвернені збитки $BЗ_s$ в процесі інтегрованого управління слід також розглядати як дохід (гіпотетичний дохід), який буде отриманий шляхом здійснення превентивних, головним чином інженерних, заходів відвернення комплексу соціальних, екологічних і економічних збитків в контурі земельного або водного ресурсу s .

Позитивний соціальний ефект $P_s^{Cи}$ складається з доходу $D_s^{Cи}$, що забезпечується, наприклад, заходами підвищення споживчої якості, а отже і товарної вартості, сільгосппродукції, зрошувальної і питної води, а також $P_s^{Cи}$ складається з відвернених соціальних збитків $BЗ_s^{Cи}$ – гіпотетичного доходу, що забезпечується, наприклад, заходами захисту життя і здоров'я населення від шкідливих агрохімічних речовин, від шкідливої дії поверхневої або ґрунтової води тощо.

Позитивний екологічний ефект $P_s^{Eкл}$ складається з доходу $D_s^{Eкл}$, що забезпечується, наприклад, заходами облаштування на земельному або

водному ресурсі s природних заповідників, рекреаційних зон, екологічних водойм, а також $\Pi_s^{Eкл}$ складається з відвернених екологічних збитків $BЗ_s^{Eкл}$ – гіпотетичного доходу, що забезпечується, наприклад, здійсненням ґрунтозахисних або водорегулюючих заходів.

Позитивний економічний ефект $\Pi_s^{Eкн}$ складається з доходу $D_s^{Eкн}$, що забезпечується заходами вдосконалення технологій господарського використання ресурсу s , а також $\Pi_s^{Eкн}$ складається з відвернених економічних збитків $BЗ_s^{Eкн}$ – гіпотетичного доходу, що забезпечується, наприклад, здійсненням заходів захисту рослин від шкідників і хвороб або заходів захисту від затоплення і підтоплення посівів культур, господарських споруд, доріг, мостів, інженерних мереж тощо.

Ефективність здійснення заходів поліпшення використання ресурсу s оцінюють прибутком ΠP_s , індексом рентабельності інвестицій R_s , а також рентабельністю P_s :

$$\Pi P_s = \Pi_s - B_s = (\Pi_s^{Cц} + \Pi_s^{Eкл} + \Pi_s^{Eкн}) - B_s ; \quad (3)$$

$$R_s = \frac{\Pi_s}{B_s} ; \quad (4)$$

$$P_s = \frac{\Pi_s - B_s}{B_s} = R_s - 1 , \quad (5)$$

де B_s – витрати на здійснення заходів поліпшення використання ресурсу s .

З формул (4) і (5) видно, що між індексом рентабельності інвестицій R_s і рентабельністю P_s існує прямий зв'язок. Величини R_s і P_s відрізняються на одиницю або на 100%, якщо їх визначати у відсотках. В системних дослідженнях доцільно використовувати індекс рентабельності інвестицій R_s , оскільки він має більш простий аналітичний вираз (4). За цільовий показник інтегрованого управління слід обрати максимальну величину індексу рентабельності інвестицій R_s^{max} , для досягнення якої використовують цільову функцію:

$$R_s = \frac{\Pi_s}{B_s} = \frac{D_s + BЗ_s}{B_s} \rightarrow max . \quad (6)$$

З відображенням усіх складових загального позитивного ефекту Π_s цільова функція (6) має вид:

$$R_s = \frac{(D_s^{Cц} + BЗ_s^{Cц}) + (D_s^{Eкл} + BЗ_s^{Eкл}) + (D_s^{Eкн} + BЗ_s^{Eкн})}{B_s} \rightarrow max . \quad (7)$$

Залежно від параметрів ресурсу s та об'єктів його використання заходи локального інтегрованого управління ресурсом s різні за специфікою, але єдині за їх цільовою спрямованістю, яка полягає у збільшенні суми позитивних соціального, екологічного та економічного ефектів, що входять до чисельника функції (7), і зменшенні витрат, що входять до знаменника функції (7).

Результатом локального інтегрованого управління земельним або водним ресурсом s є визначений з використанням цільової функції (7) варіант (проектне рішення) комплексу заходів поліпшення використання локального земельного або водного ресурсу s .

Під час виконання процедури локального інтегрованого управління ресурсом s виникає потреба візуальної оцінки ефективності результатів управління. Для цього графічно відображають визначені у грошових одиницях позитивні ефекти заходів поліпшення використання ресурсу s і витрати на здійснення заходів. У міжнародній практиці ефективність реалізації будь-якого проекту, зокрема проекту здійснення заходів поліпшення використання ресурсу s , відображають графіком 1 (рис. 1а) чистого дисконтованого доходу $ЧДД_s$, залежного від часу реалізації проекту [18]. Графік 1 є результатом складання графіків 2 і 3. Графіком 2 відображають залежність у часі дисконтованих витрат $ДВ_s$ на здійснення заходів поліпшення використання ресурсу s . При цьому на періоді часу від $t = 0$ до $t = t_k$ дисконтовані витрати $ДВ_s$ складаються тільки з дисконтованих капітальних витрат $ДК_s$, а на періоді часу від $t = t_k$ до $t = T$ дисконтовані витрати $ДВ_s$ складаються з дисконтованих капітальних витрат $ДК_s$ і дисконтованих експлуатаційних витрат $ДЕВ_s$. Графіком 3 відображають залежність у часі дисконтованого доходу $ДД_s$ від здійснення заходів поліпшення використання ресурсу s . Строк окупності інвестицій відповідає моменту часу t_o , який знаходять за умови $ДД_s^o = ДВ_s^o$ (рис. 1а). По завершенню строку T реалізації проекту загальний позитивний ефект $П_s$ може бути оцінений дисконтованим доходом $ДД_s^T$, а прибуток $Пр_s$ – чистим дисконтованим доходом $ЧДД_s^T$.

Таким чином, традиційними графіками 1, 2 і 3 в процесі реалізації проекту у певний момент часу t ($0 \leq t \leq T$) відображають поточну ефективність заходів. При цьому в кінці реалізації проекту загальний позитивний ефект $П_s$, який розраховують за формулою (1), відповідає дисконтованому доходу $ДД_s^T$, а прибуток $Пр_s$, який розраховують за формулою (3), відповідає чистому дисконтованому доходу $ЧДД_s^T$. Однак в умовах інтегрованого управління земельними і водними ресурсами використання традиційних графіків 1, 2 і 3 є недоцільним, оскільки під час інтегрованого управління ефективність заходів поліпшення використання ресурсів слід визначати не по завершенню заходів, а до початку їх здійснення, тобто на стадії прийняття проектних рішень заходів.

Для локального інтегрованого управління ресурсом s запропоновано економічні показники базового варіанту, що відображені традиційним графіком 1, відображати стовпчиком 4 в координатах BOR , де OB – вісь витрат на здійснення заходів, а OR – вісь індексу рентабельності інвестицій (рис. 1а). Нижня основа стовпчика 4 розміщена на рівні ординати $ДВ_s^T$ графіка 2, а його верхня основа розміщена на рівні ординати $ЧДД_s^T$ графіка 3. Ширина стовпчика 4 відповідає величині дисконтованих витрат $ДВ_s^T$. Стовпчик 4 складається з двох частин, поділених лінією, що співпадає з віссю часу Ot та перетинає вісь OR в точці $R = 1$.

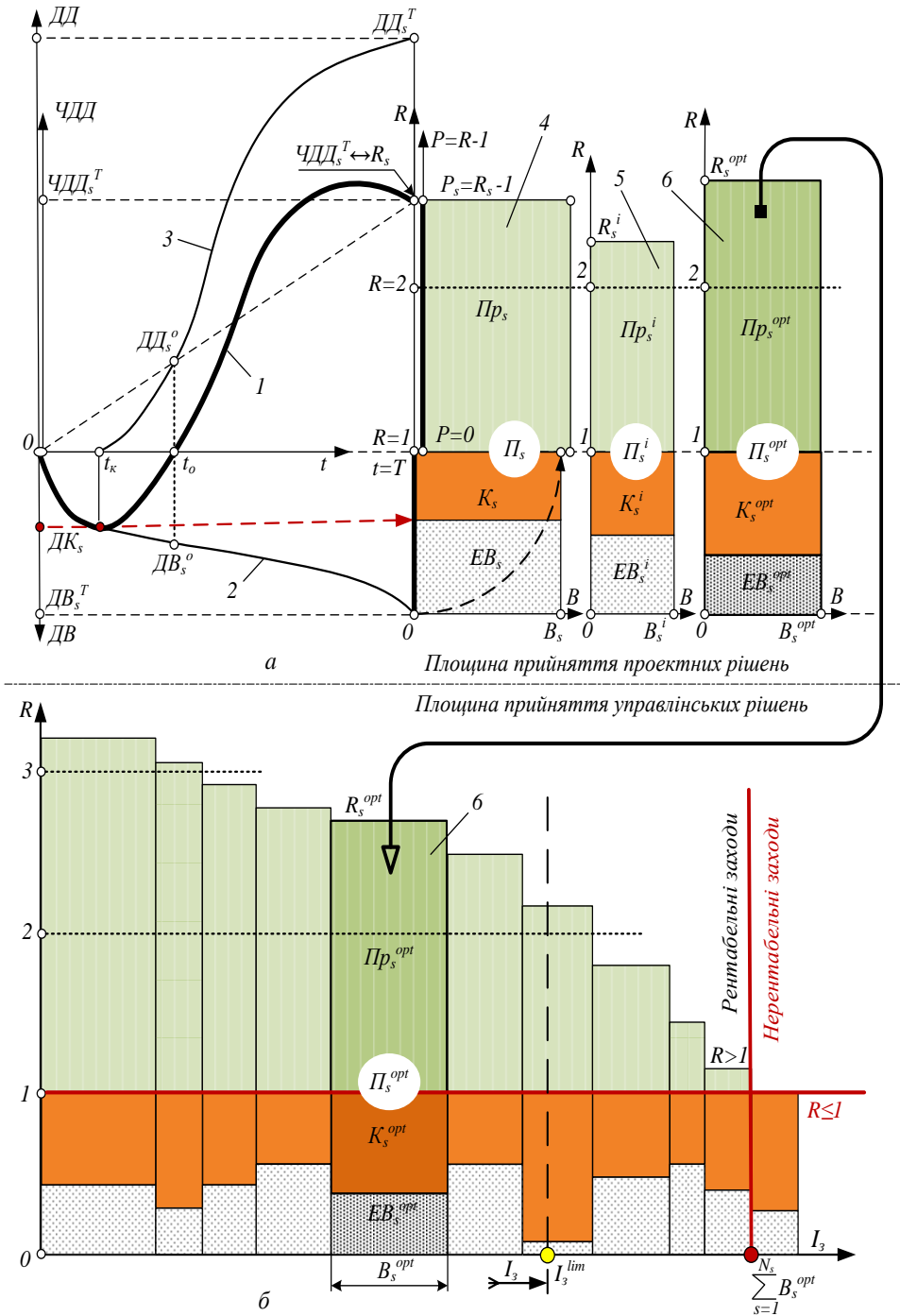


Рис. 1 – Графічна інтерпретація алгоритмів локального (а) і зонального (б) інтегрованого управління земельними і водними ресурсами:
 1, 2 і 3 – традиційні графіки економічних показників базового варіанту заходів локального інтегрованого управління ресурсом s ; 4 – інноваційне графічне відображення економічних показників базового варіанту заходів локального інтегрованого управління ресурсом s ; 5 і 6 – те саме, для інших альтернативних варіантів заходів локального інтегрованого управління ресурсом s

Геометричні параметри побудованого стовпчика 4 цілком відображають економічні показники заходів поліпшення використання ресурсу s . Ширина стовпчика 4 та площа його нижньої частини відповідають витратам B_s на здійснення заходів. Загальна площа стовпчика 4 відповідає загальному позитивному ефекту Π_s , а площа верхньої частини стовпчика 4 відповідає прибутку Πp_s від здійснення заходів. Висота стовпчика 4 відповідає індексу рентабельності інвестицій R_s , а висота його верхньої частини відповідає рентабельності P_s проекту заходів. Нижню частину стовпчика 4 доцільно поділити на дві частини горизонтальною лінією, дотичною до графіка 1 в точці t_k – терміну завершення освоєння капітальних вкладень. Площі цих частин відповідають розміру капіталовкладень K_s і розміру експлуатаційних витрат EB_s .

Інноваційне відображення стовпчиком 4 економічних показників базового варіанту заходів поліпшення використання ресурсу s відповідає показникам, що відображені традиційними графіками 1, 2 і 3. Це підтверджується тим, що вартість позитивного ефекту Π_s і витрат B_s , яка розрахована в цінах періоду розробки проекту заходів та наведена в стовпчику 4, є відповідною (еквівалентною) дисконтованому доходу DD_s^T і дисконтованим витратам DB_s^T , наведеним у традиційних графіках 3 і 2. При цьому заміна традиційних графіків 1, 2 і 3 стовпчиком 4 економічних показників заходів є як правомірною, так і доцільною, оскільки така заміна дає можливість візуально оцінювати економічні показники варіанту заходів під час локального інтегрованого управління ресурсом s . Крім того, порівняно з традиційними графіками 1, 2 і 3 використання стовпчика 4 дає можливість графічно відображати та візуально оцінювати значно більшу кількість економічних показників базового варіанту заходів інтегрованого управління ресурсом s .

В подальшому необхідність використання графіків 1, 2 і 3 відпадає. В процесі локального інтегрованого управління ресурсом s , крім базового варіанту заходів, виникає потреба встановлення інших альтернативних варіантів заходів, а також визначення, графічного відображення та аналізу їх економічних показників. Для цього на площині прийняття проектних рішень (рис. 1а) поруч із стовпчиком 4 економічних показників базового варіанту заходів розміщують стовпчики економічних показників інших альтернативних варіантів. При цьому стовпчики економічних показників базового та інших альтернативних варіантів заходів в подальшому будують в координатах BOR у довільному масштабі. З множини альтернативних варіантів заходів обирають i -й варіант, що має показник $R_s^i \leftrightarrow R_s^{max} \leftrightarrow R_s^{opt}$. На рис. 1 економічні показники оптимального варіанту заходів інтегрованого управління локальним ресурсом s відображено стовпчиком 6.

Таким чином, кінцевим результатом локального інтегрованого управління є комплекс заходів поліпшення використання локального ресурсу s з показником R_s^{opt} , який відображено стовпчиком 6.

5. Алгоритм зонального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами.

Об'єктом зонального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами є зональний ресурс S , який складається з множини локальних ресурсів s ($s \in S$). До зонального земельного або водного ресурсу S можуть відноситись: комплекс земельних ділянок, що складаються з ґрунтів

однакового типу; тваринницькі комплекси; комплекси зберігання та переробки сільгосппродукції; водні ресурси в межах річкового басейну або суббасейну; зрошувальні або осушувальні системи; системи комплексного протиаводкового захисту в річкових басейнах; рекреаційні зони тощо.

Предметом зонального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами є заходи поліпшення екологічного стану ресурсу S , підвищення продуктивних властивостей ресурсу S , інноваційне удосконалення об'єктів господарського використання ресурсу S .

Зональне інтегроване управління земельними і водними ресурсами виконують з урахуванням двох типів локальних земельних і водних ресурсів s .

Локальні ресурси s першого типу мають спільні (зональні) властивості, при цьому між об'єктами їх використання відсутня функціональна залежність. Прикладом локального ресурсу першого типу є земельні ділянки сільськогосподарського призначення, які розташовані в одній природно-кліматичній зоні, складаються зі спільних за видом і продуктивністю ґрунтів. При цьому об'єкти господарського використання (засоби агротехніки) однієї земельної ділянки не мають функціональних зв'язків з об'єктами господарського використання іншої земельної ділянки.

Інтегроване управління зональним земельним або водним ресурсом SI першого типу, який складається з множини локальних ресурсів s першого типу, здійснюють за такою процедурою.

На першій стадії визначають комплекс локальних ресурсів s першого типу, які входять в склад зонального ресурсу SI , за наявності однієї з двох ознак: комплексом локальних ресурсів s в складі зонального ресурсу SI володіє один власник (державний, колективний або приватний); управління комплексом локальних ресурсів s здійснює один або декілька організаційно пов'язаних менеджерів.

На другій стадії для кожного локального ресурсу s із застосуванням вищенаведеного алгоритму локального інтегрованого управління ресурсом s шляхом пошуку та аналізу множини альтернативних варіантів визначають варіант заходів поліпшення використання ресурсу s , який забезпечує досягнення оптимального значення індексу рентабельності інвестицій R_s^{opt} .

На третій стадії здійснюють ранжоване упорядкування локальних ресурсів s в складі зонального ресурсу SI . Для цього по завершенню процедури локального інтегрованого управління множини ресурсів s , що входять в склад зонального ресурсу SI , з площин прийняття проектних рішень (рис. 1а) переносять стовпчики економічних показників варіантів заходів з оптимальним показником R_s^{opt} (поз. 6 на рис. 1а) на площину прийняття управлінських рішень (поз. 6 на рис. 1б), де їх розміщують в ранжованому ряду, починаючи зі стовпчика, що має найбільший показник R_s^{opt} .

На четвертій стадії приймають управлінське рішення щодо пріоритету вкладення інвестицій в здійснення комплексу оптимальних за показником R_s^{opt} заходів поліпшення використання ресурсів s , попередньо визначених в процесі інтегрованого управління локальними ресурсами s . Для цього, маючи певний ліміт інвестицій I_s^{lim} в розвиток ресурсу S , визначають множину (кількість K_s) локальних ресурсів s , в які слід вкладати інвестиції. Кількість K_s ресурсів s , в які слід вкладати інвестиції, відповідає кількості стовпчиків економічних показників заходів поліпшення їх використання, що розташовані на площині

прийняття управлінських рішень (рис. 1б) по ліву сторону від точки I_3^{lim} на осі інвестицій OI_3 . За таких умов маємо:

$$\sum_{s=1}^{K_s} B_s \leq I_3^{lim} . \quad (8)$$

На п'ятій заключній стадії визначають ефективність вкладення інвестицій в заходи інтегрованого управління зональним ресурсом $S1$ першого типу за формулою:

$$R_{S1} = \frac{\sum_{s=1}^{K_s} \Pi_s}{\sum_{s=1}^{K_s} B_s} , \quad (9)$$

де R_{S1} – індекс рентабельності інвестицій в розвиток зонального ресурсу $S1$ першого типу.

Інтегроване управління зональним земельним і водним ресурсом $S2$ другого типу, що складається з множини локальних ресурсів s другого типу, здійснюють за процедурою, аналогічною процедурі локального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами. При цьому зональний земельний і водний ресурс $S2$ другого типу може складатись: з множини тільки земельних ресурсів з розміщеними на них, наприклад, функціонально пов'язаними об'єктами комплексу зберігання і переробки сільськогосподарських продуктів; множини тільки водних ресурсів, розташованих у природних та штучних водних об'єктах водогосподарських та природоохоронних систем; множини земельних і водних ресурсів, наприклад, земель сільськогосподарського призначення, що знаходяться у річкових басейнах в зонах паводкових ризиків та на яких побудовано акумуляційні водосховища і дамби для захисту від паводків.

Оптимальний варіант заходів інтегрованого управління зональним ресурсом $S2$ другого типу визначають за критерієм досягнення цільового показника R_{S2}^{max} , використовуючи цільову функцію:

$$R_{S2} = \frac{D_{S2} + BZ_{S2}}{\sum_{s=1}^{K_{S2}} B_s} \rightarrow max , \quad (10)$$

де R_{S2} – індекс рентабельності інвестицій в заходи управління зональним ресурсом $S2$ другого типу; D_{S2} і BZ_{S2} – прямий дохід і гіпотетичний дохід (відвернені збитки) від здійснення заходів управління зональним ресурсом $S2$ другого типу; K_{S2} – кількість локальних ресурсів s в складі зонального ресурсу $S2$ другого типу.

Визначення оптимального варіанту заходів за критерієм досягнення цільового показника R_{S2}^{max} є найбільш складною задачею інтегрованого управління зональним ресурсом $S2$ другого типу. Для цього слід

використовувати різні методи пошуку та обґрунтування проектних рішень складних систем. Так, наприклад, на стадії виконання передпроектних досліджень в роботі [19] наведено методичні засади оцінки і прогнозування паводкових ризиків в річкових басейнах та визначення величини відвернених збитків B_{3S_2} в зонах затоплення. В роботі [20] наведено методичні засади визначення оптимальної величини забезпеченості паводків, яку слід закладати в проект. На стадії обґрунтування варіантів проектних рішень інженерних споруд систем комплексного протипаводкового захисту в річкових басейнах був запропонований зручний для практичного використання метод біфуркації базису [21], за яким визначають оптимальне співвідношення об'ємів спільного будівництва в зоні ризику затоплення берегоукріплення русла річки і акумуляційного протипаводкового водосховища. Цей метод може бути застосований також в аграрному виробництві для визначення оптимального розподілу площ сільгоспугідь під рослинництво і тваринництво, або розподілу земельних ділянок під об'єкти виробництва сільгосппродукції та її переробки.

Управлінське рішення щодо вкладення інвестицій в комплекс заходів інтегрованого управління зональним ресурсом S_2 другого типу приймається для варіанту заходів, за яким з використанням цільової функції (9) досягається цільовий показник $R_{S_2}^{max}$.

6. Алгоритм регіонального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами.

Об'єктами регіонального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами можуть бути: територіальні регіони, наприклад Карпатський регіон, який потребує комплексного регіонального рішення проблеми паводків; регіональні земельні ресурси; регіональні водні ресурси; галузі сільськогосподарського виробництва; території однієї або декількох селищних громад; басейни великих річок, в межах яких утворено декілька зон паводкових ризиків [22], екологічні регіони тощо.

Регіональне інтегроване управління земельними і водними ресурсами здійснюють після отримання результатів інтегрованого управління зональними земельними і водними ресурсами першого і другого типу. Процедура регіонального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами аналогічна процедурі інтегрованого управління зональними земельними і водними ресурсами першого типу (рис. 1б), але відрізняється тим, що на площині прийняття управлінських рішень (рис. 2) в ранжованому порядку розміщують стовпчики економічних показників оптимальних варіантів заходів не локального, а зонального інтегрованого управління. При цьому стовпчики економічних показників заходів управління зональними ресурсами першого і другого типу, що знаходяться в межах одного ресурсного регіону, на площині прийняття управлінських рішень розміщують в один ряд, ранжований у порядку зменшення оптимальних величин індексу рентабельності інвестицій, що вкладають в заходи управління зональними ресурсами (рис. 2).

Маючи певний ліміт інвестицій в розвиток регіональних земельних і водних ресурсів I_p^{lim} , за множиною стовпчиків економічних показників, що розташовані на рис. 2 по ліву сторону від точки I_p^{lim} , на осі регіональних інвестицій OI_p , визначають кількість K_p зональних земельних і водних ресурсів

першого і другого типу, які є пріоритетними для вкладення інвестицій в заходи поліпшення їх використання. За таких умов маємо:

$$\sum_{S=1}^{K_p} B_S \leq I_p^{lim}, \quad (11)$$

де B_S – витрати на здійснення заходів інтегрованого управління зональним ресурсом першого або другого типу.

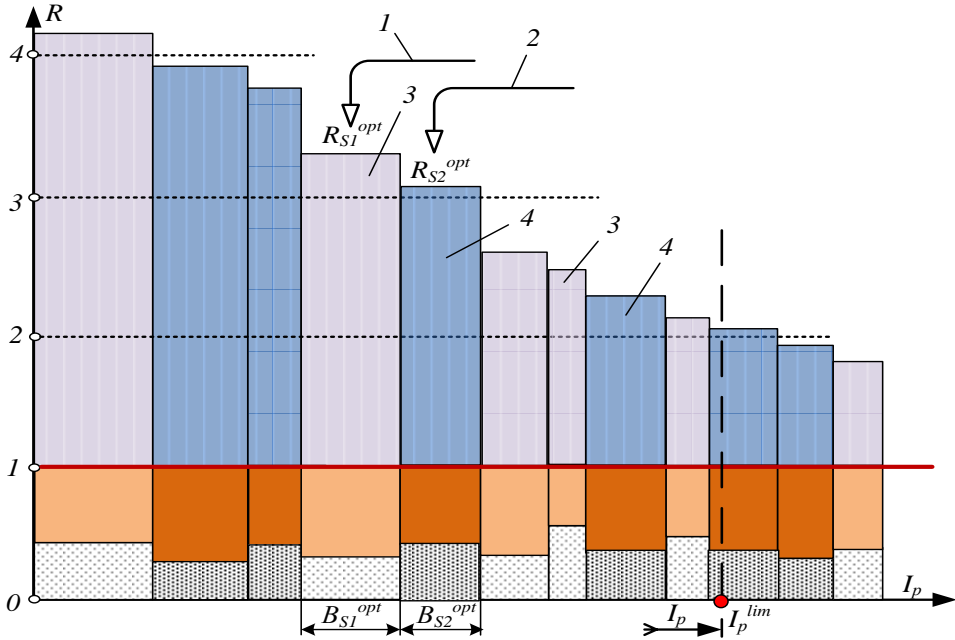


Рис. 2 – Графічна інтерпретація алгоритму регіонального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами:

1 і 2 – результати інтегрованого управління зональним ресурсом $S1$ першого типу і зональним ресурсом $S2$ другого типу; 3 – графічне відображення економічних показників оптимальних варіантів заходів інтегрованого управління зональними ресурсами першого типу; 4 – те саме, заходів інтегрованого управління зональними ресурсами другого типу

Ефективність здійснення заходів інтегрованого управління регіональними земельними і водними ресурсами визначають індексом рентабельності інвестицій R_p за формулою:

$$R_p = \frac{\sum_{S=1}^{K_p} \Pi_S}{\sum_{S=1}^{K_p} B_S}, \quad (12)$$

де Π_S – загальний позитивний ефект здійснення заходів інтегрованого управління зональним земельним і водним ресурсом першого або другого типу.

Висновки

1. Проаналізовано існуючі методологічні підходи до інтегрованого управління земельними і водними ресурсами та встановлено їх основний недолік, який полягає у складності їх практичного використання, оскільки вони містять сукупність посилань, загальних рекомендацій, порад та пропозицій без викладення придатних для практичного застосування алгоритмів управління земельними і водними ресурсами.

2. Наголошено про необхідність вдосконалення існуючих методологічних основ інтегрованого управління земельними і водними ресурсами, що підтверджується актуальністю впровадження в Україні інтегрованого управління земельними ресурсами, яка полягає у необхідності суттєвого підвищення рентабельності аграрного виробництва, та актуальністю впровадження інтегрованого управління водними ресурсами, яка полягає у необхідності рішення двох пов'язаних з водою проблем – проблеми забезпечення населення та галузей економіки дешевою товарною водою та проблеми захисту довкілля від шкідливої дії води.

3. Предметом інтегрованого управління земельними і водними ресурсами обрано заходи управління, що сприяють отриманню комплексу позитивних соціальних, екологічних та економічних ефектів використання земельних і водних ресурсів.

4. В основу нової методології покладено цільовий показник (цільовий індикатор) інтегрованого управління земельними і водними ресурсами, яким обрано максимальне значення індексу рентабельності інвестицій в заходи поліпшення управління ресурсами й досягається сумісним застосуванням принципу комплексності, принципу інтегрованості, а також контурно-меліоративного та функціонально-вартісного принципів управління.

5. Цільовим показником (цільовим індикатором) інтегрованого управління земельними і водними ресурсами обрано максимальне значення індексу рентабельності інвестицій в заходи поліпшення екологічного стану ресурсів та техніко-економічних показників об'єктів використання ресурсів.

6. Цільовий показник інтегрованого управління земельними і водними ресурсами досягається використанням цільової функції, а також застосуванням таких принципів управління складними системами, як принцип комплексності, принцип інтегрованості, контурно-меліоративний принцип, принцип функціонально-вартісного аналізу альтернативних заходів управління.

7. Запропоновано науково-методичний інструментарій інтегрованого управління земельними і водними ресурсами, основу якого складають інноваційні алгоритми локального, зонального і регіонального інтегрованого управління земельними і водними ресурсами.

8. Нову методологію та алгоритми інтегрованого управління земельними і водними ресурсами рекомендовано для науково-дослідних установ, проектних та природоохоронних організацій, а також фахівців, які займаються проблемою природокористування, проблемою визначення та реалізації стратегічних пріоритетів розвитку аграрного виробництва та водного господарства, а також проблемою сталого розвитку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Курильців Р. Сутність та зміст інтегрованого управління землекористуванням / Р. Курильців // Землевпорядний вісник. – 2012. – №4. – С. 32–35.
2. Левковська Л.В., Мандзик В.М. Формування моделі інтегрованого управління водними ресурсами в контексті забезпечення сталого водокористування / Л.В. Левковська, В.М. Мандзик // Збалансоване природокористування. – 2018. – №2. – С. 46–53.
3. Борейко В.І. Шляхи підвищення ефективності використання водних ресурсів України / В.І. Борейко // Вісник економічної науки України. – 2018. – № 2. – С. 26–29.
4. Авдулов А.Н. Научные и технологические парки, технополисы и регионы науки / А.Н. Авдулов, А.М. Кулькин. – М.: Наука. – 2005. – 166 с.
5. Мазур А.А. Технологічні парки України: цифри, факти, проблеми / А.А. Мазур, С.В. Пустовойт // Наука та інновації. – 2013. – Т. 9. – № 3. – С. 59–72.
6. Kozachenko O.A. The Project of the Bioenergetic Agroecosystems Science Park / O.A. Kozachenko // Agricultural science and practice. – 2014. – Vol. 1. – № 3. – P. 50–56.
7. Статистичний щоденник України за 2018 р. : статистичний збірник / Державна служба статистики України. – Київ. – 2019. – 482 с.
8. Музика П.М. Аналіз стану та ефективності використання земельних ресурсів в Україні / П.М. Музика, С.І. Урба, Л.В. Гончаренко // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського, Серія: Економіка і управління. – 2019. 30 (69), – №69. – С. 45–53.
9. Третяк А. Стан та шляхи розвитку земельних відносин і системи землекористування в аграрному комплексі України / А. Третяк // Землевпорядний вісник. – 2008. – № 6. – С. 4–18.
10. Яцик А.В. Водні ресурси: використання, охорона, управління / А.В. Яцик, Ю.М. Грищенко, Л.А. Волкова, І.А. Пашенок. – К.: Генеза. – 2007. – 360 с.
11. Левковська Л.В. Безпека водних ресурсів України: аналіз, оцінка, пріоритети забезпечення / Л.В. Левковська, А.М. Сундук // Економіка природокористування і охорони довкілля: Зб. наук. пр. – К.: ДУ ІЕПСР НАН України. – 2014. – С. 71–75.
12. Петроченко А.В. Класифікація паводков і систематизація протипаводкових заходів / А.В. Петроченко // Меліорація. – 2019. – №3(89) – С. 30–37.
13. Петроченко А.В. Проблема дефіциту води і паводков в Україні / А.В. Петроченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ» – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2018 – Вып. 3(71). – С. 133–140.
14. Джамаль В.А. Контурное земледелие на склонах Украины / В.А. Джамаль, Н.М. Шелякин, Н.В. Медведев // Земледелие. – 1984. – № 2. – С. 22–23.
15. Ткаченко В.Г. Контурно-мелиоративное земледелие / В.Г. Ткаченко // Земледелие. – 1982. – №4. – С. 17–21.
16. Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства. За ред. акад. УААН О.Г. Тараріко, чл.-кор. УААН М.Г. Лобаса. – К., УААН, Держкомзем, Інститут агроєкології та біотехнології, Аграрний інститут НВАТ «Агроінком». – 1998. – 158 с.
17. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом: Закон України від 04.10.2016 р. № 1641-VIII. Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2016. – № 46. – ст. 780.
18. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). – М.: Экономика. – 2000. – 422 с.
19. Петроченко О.В. Оцінка і прогнозування паводкових ризиків в річкових басейнах / О.В. Петроченко / Екологічна безпека та природокористування. – 2020. – №33 (1). – С. 18–41. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.1.18-41>
20. Петроченко В.И. Научно-методическое обоснование систем превентивной противопаводковой защиты территорий в бассейнах рек / В.И. Петроченко,

- А.В. Петроченко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 2 (110): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика – С. 44–48.
21. Петроченко, В.И. Оптимизация проектных решений защиты от паводков в речных бассейнах / В.И. Петроченко, А.В. Петроченко // Мелиорация. – 2019. – № 2 (88) – С. 26–33.
22. Петроченко О.В. Науково-методичне забезпечення розробки планів управління ризиками затоплення в річкових басейнах / О.В. Петроченко, В.І. Петроченко // Екологічні науки. – 2020. – №6(33). – С. 35–44.

Стаття надійшла до редакції 01.07.2021 і прийнята до друку після рецензування 08.09.2021

REFERENCES

1. Kuriltsiv, R. (2012). Sutnist' ta zmist intehrovanoho upravlinnya zemlekorystuvanniam [The essence and content of integrated land management]. *Land Management Bulletin*, 4, 32-35 [In Ukrainian].
2. Levkovs'ka, L.V., & Mandzyk, V.M. (2018). Formuvannya modeli intehrovanoho upravlinnya vodnymy resursamy v konteksti zabezpechennya staloho vodokorystuvannya [Formation of a model of integrated water resources management in the context of ensuring sustainable water use]. *Balanced nature management*, 2, 46-53 [In Ukrainian].
3. Boreyko, V.I. (2018). Shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti vykorystannya vodnykh resursiv Ukrayiny [Ways to increase the efficiency of water resources in Ukraine]. *Bulletin of Economic Science of Ukraine*, 2, 26-29 [In Ukrainian].
4. Avdulov, A.N., & Kulkin, A.M. (2005). Nauchnyye i tekhnologicheskiye parki, tekhnopolisy i regiony nauki [Science and technology parks, technopolises and science regions]. Moscow: Nauka [In Russian].
5. Mazur, A.A., & Pustovoit, S.V. (2013). Tekhnolohichni parky Ukrayiny: tsyfry, fakty, problemy [Technology parks of Ukraine: figures, facts, problems]. *Science and innovation*, 9(3), 59-72 [In Ukrainian].
6. Kozachenko, O.A. (2014). The Project of the Bioenergetic Agroecosystems Science Park. *Agricultural science and practice*, 1(3), 50-56 [In Ukrainian].
7. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. (2019). Statystychnyy shhodennyk Ukrayiny za 2018 rik: statystychnyy zbirnyk [Statistical Diary of Ukraine for 2018: statistical collection]. Kyiv [In Ukrainian].
8. Muzuca, P.M., Urba, S.I., & Goncharenko, L.V. (2019). Analiz stanu ta efektyvnosti vykorystannya zemel'nykh resursiv v Ukrayini [Analysis of the state and efficiency of land use in Ukraine]. *Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadsky. Series: Economics and Management*, 30(69), 45-53 [In Ukrainian].
9. Tretyak, A. (2008). Stan ta shlyakhy rozvytku zemel'nykh vidnosyn i systemy zemlekorystuvannya v ahrarnomu kompleksi Ukrayiny [Status and ways of development of land relations and land use system in the agrarian complex of Ukraine]. *Land Management Bulletin*, 6, 4-18. [In Ukrainian].
10. Jacyk, A.V., Grishchenko, Y.M., Volkova, L.A., & Pashenok, I.A. (2007). Vodni resursy: vykorystannya, okhorona, upravlinnya [Water resources: use, protection, management]. Kyiv: Genesis [In Ukrainian].
11. Levkovs'ka, L.V. & Sunduk, A.M. (2014). Bezpeka vodnykh resursiv Ukrayiny: analiz, otsinka, priorityty zabezpechennya [Security of water resources of Ukraine: analysis, assessment, priorities]. *Ekonomika pryrodokorystuvannya i okhorony dovkillya: Zb. nauk. pr.*, 71-75 [In Ukrainian].
12. Petrochenko, A.V. (2019). Klassifikatsiya pавodkov i sistematizatsiya protivopавodkovykh meropriyatiy [Flood classification and systematization of flood control measures]. *Melioratsiya*, 3(89), 30-37 [In Russian].

13. Petrochenko, A.V. (2018). Problema defitsita vody i pavodkov v Ukraine [The problem of water scarcity and floods in Ukraine]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya*, 3(71), 133-140 [In Russian].
14. Jamal, V.A., Shelyakin N.M., & Medvedev N.V. (1984). Konturnoye zemledeliye na sklonakh Ukrainy [Contour agriculture on the slopes of Ukraine]. *Agriculture*, 2, 22-23 [In Russian].
15. Tkachenko, V.G. (1982). Konturno-meliorativnoye zemledeliye [Contour-reclamation agriculture]. *Agriculture*, 4, 17-21 [In Russian].
16. Tararico, O.G., & Lobas, M.G. (Eds.). (1998). Normatyvy gruntozakhysnykh konturno-meliorativnykh system zemlerobstva [Standards of soil protection contour-ameliorative systems of agriculture]. Kyiv, UAAS, Derzhkomzem, Institute of Agroecology and Biotechnology, Agrarian Institute of NGO "Agroincom" [In Ukrainian].
17. Pro vnesennya zmin do deyakykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo vprovadzhennya intehrovanykh pidkhodiv v upravlinni vodnymy resursamy za baseynovym pryntsyptom. [On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine Concerning the Implementation of Integrated Approaches in Water Resources Management on the Basin Principle]. *Zakon Ukrainy vid 04.10.2016 r. No 1641-VIII* [In Ukrainian].
18. Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proyektov. [Methodological recommendations for evaluating the effectiveness of investment projects (2nd ed)]. (2000). Moscow: Economics [In Russian].
19. Petrochenko, O.V. (2020). Otsinka i prohnozuvannya pavodkovykh ryzykiv v richkovykh baseynakh [Assessment and prediction of flood risks in river basins]. *Environmental Safety and Natural Resources*, 33(1), 18–41. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.1.18-41> [In Ukrainian].
20. Petrochenko, V.I. & Petrochenko, A.V. (2018). Nauchno-metodicheskoye obosnovaniye sistem preventivnoy protivopavodkovoy zashchity territoriy v basseynakh rek [Scientific and methodological substantiation of systems of preventive flood protection of territories in river basins]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, Vodokhozyaystvennoye stroitel'stvo i teploenergetika*, 2(110), 44-48 [in Russian].
21. Petrochenko, V.I. & Petrochenko, A.V. (2019). Optimizatsiya proyektnykh resheniy zashchity ot pavodkov v rechnykh basseynakh [Optimization of design solutions for flood protection in river basins]. *Melioratsiya*, 2(88), 26-33 [in Russian].
22. Petrochenko, O.V. & Petrochenko, V.I. (2020). Naukovo-metodychne zabezpechennya rozrobky planiv upravlinnya ryzykamy zatoplennya v richkovykh baseynakh [Scientific and methodological support for the development of flood risk management plans in river basins]. *Ekolohichni nauky*, 6(33), 35-44 [In Ukrainian].

The article was received 01.07.2021 and was accepted after revision 08.09.2021

Петроченко Олексій Вячеславович

кандидат технічних наук, директор Інституту інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури МОН України

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, вул. Освіти, 31

ORCID ID: 0000-0003-2184-4811 **e-mail:** a_petr89@ukr.net

Петроченко Вячеслав Ілліч

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН

Адреса робоча: 03022 Україна, м. Київ, вул. Васильківська, 37

ORCID ID: 0000-0001-8306-2554 **e-mail:** v_petr47@ukr.net

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

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

ДО УВАГИ АВТОРІВ ЗБІРНИКА

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

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова (не менше п'яти) двома мовами (українською 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 23.09.2021. Формат 70x108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 9.98
Обл.-вид. арк. 13.8
Замовлення № _____

КИЇВ 2021