

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ У БУДІВНИЦТВІ

EFFICIENCY OF USE OF INDUSTRIAL WASTE IN CONSTRUCTION

У статті досліджено використання та управління промисловими відходами. Наведено законодавче регулювання відходами – «Національна стратегія управління відходами до 2030 р», Закони та Постанови Кабінету Міністрів України, директиви Європейського Союзу. Наведена сумна статистика обсягу накопичених відходів на Україні, в тому числі і у Криворізькому басейні. Надано схеми накопичення твердих промислових відходів за галузями народного господарства та створення техногенних родовищ. Критичні обсяги утворення та нагромадження промислових відходів зумовили загострення економічних, екологічних, соціальних проблем та вимагають термінових заходів. Тільки ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» складає близько 9 млн. кубометрів відходів виробництва – хвостів збагачення, тому планується введення в дію нового хвостосховища «Третя карта», що зменшить техногенне навантаження на навколишнє середовище. Пріоритетно увагу проблемі мінералізації підземних вод Криворізького регіону і зв'язку з цим застосування ресурсозберігаючої технології використання шламу для посилення корозійної стійкості бетонних та залізобетонних конструкцій. Наведені напрямки застосування промислових відходів ГМК у будівництві та економічний ефект їх застосування.

Ключові слова: промислові відходи, стратегія, управління, статистика, будівництво, мінералізація підземних вод, шлами, економічний ефект, ресурсозбереження, органо-мінеральний комплекс.

The article examines the management of industrial waste. The legislative regulation of waste is given – "National strategy of waste management until 2030", the Law of Ukraine "On waste management" and the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine "Some issues of classifying substances or objects as by-products", directives of the European Union. Production waste should get a second life. When establishing the criteria under which production residues can receive this status, the government took the relevant experience of Poland, Germany, the Czech Republic, Bulgaria, Serbia and Great Britain. Sad statistics of the amount of accumulated waste in Ukraine, including in the Kryvorizka Basin, are given. Obviously, this is a serious environmental challenge; a terrible legacy that our descendants receive. PJSC ArcelorMittal Kryvyi Rih is the world's largest metallurgical giant. But due to the lack of advanced production technologies, more than 150 million tons of waste annually fills the landfills and sides of sludge storage facilities. Already, 9.1 billion tons of industrial waste are accumulated on the area of 13,000 hectares of the Kryvyi Rih Basin, and annually it becomes 70–80 million tons more. Today, ArcelorMittal Kryvyi Rih implements the project for the construction of the "Tretya Karta" tailings storage facility, which is vital for the safe storage of industrial waste from its production, the land area under dumps for the storage of waste rock is increasing every year. Directions for the use of MMC industrial waste in construction – in the production of slag portland cement, slag-alkali concrete are given. There are innovative developments in the production of sulfate-resistant concrete with the involvement of slurry suspension (active) using the bubbling method. This is a rather innovative technology of Kryvyi Rih researchers, which makes it possible to prepare sulfate-resistant concrete mixtures with reduced costs and with specified properties in a fairly energy-efficient and cost-minimizing manner. Industrial and civil construction in the Kryvyi Rih mining and ore basin is associated with the problem of both the construction itself and the further operation of surface and underground structures in conditions of significant mineralization of groundwater. Standard provision of corrosion resistance of underground concrete and reinforced concrete structures occurs due to the use of sulfate-resistant concrete with the use of plasticizers with anti-corrosion properties. The proposed and implemented technology of using an organo-mineral complex - dusty sludge with a sulfate suspension up to 20% with a plasticizer to increase the sulfate resistance coefficient of concrete on ordinary Portland cement and obtain anti-corrosion properties of concrete and reinforced concrete structures. Porosity of concrete changes, cement consumption is saved. The production of sulfate-resistant concrete with the involvement of slurry suspension (active) is carried out by the bubbling method. The proposed OMK provides an opportunity to save 20% of cement and anti-corrosion properties of the concrete mix and solves the issue of waste utilization.

Key words: industrial waste, strategy, management, statistics, construction, underground water mineralization, sludge, economic effect, resource conservation, organo-mineral complex.

УДК 330: 332

DOI: <https://doi.org/10.32782/infrastruct78-2>

Кадол Л.В.

к.т.н., доцент кафедри економіки, організації та управління підприємствами, Криворізький національний університет

Курінний С.В.

здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, Криворізький національний університет

Вейс І.С.

здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, Криворізький національний університет

Kadol Larisa

Kryvyi Rih National University

Kurynnyi Serhil

Kryvyi Rih National University

Weis Ihor

Kryvyi Rih National University

Постановка проблеми. Ми в своєму дослідженні розкриватимемо питання використання промислових відходів, як найбільш болюче для нашого міста – міста Кривого Рогу та можливості їх застосування для потреб будівельної галузі з визначенням економічного ефекту. Особливої уваги приділяємо проблемі мінералізації підземних вод Криворізького регіону і зв'язку з цим застосування ресурсозберігаючої технології використання шламу для посилення корозійної стійкості бетонних та залізобетонних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми використання та управління промис-

ловими відходами досліджували О. Герасимчук, В. Шамрай, Л. Дворкін, І. Коцюба, А. Тітова, В. Кияшко, І. Салій, С. Станкевич, Л. Головань, Л. Богінська, В. Пунагін та ін. Але все ж питання використання промислових відходів Криворізького басейну досить дискусійне та актуальне.

Постановка завдання. В даному дослідженні нас цікавить використання промислових відходів гірничо-збагачувальних підприємств м. Кривого Рогу у будівництві та економічний ефект від їх застосування для посилення корозійної стійкості бетонних та залізобетонних конструкцій.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Болюча статистика – на території України навіть до повномасштабного воєнного вторгнення агресора обсяг накопичених відходів як промислових, так і побутових складало 15,6 млрд. т. [1]. А на сьогодні дана ситуація взагалі критична. На звільнених від окупантів територіях мільйони тон відходів від зруйнованих об'єктів та інфраструктури. З початку повномасштабного військового вторгнення агресора загальна сума збитків житлової, нежитлової нерухомості, іншої інфраструктури, транспорту та запасів за даними Міністерства відновлення перевищила \$157 млрд. (за вартістю заміщення) станом на початок 2024 року [2]. На територіях, на яких ще тривають бойові дії, та на територіях, які знаходяться в тимчасовій окупації, оцінити обсяг накопичених відходів взагалі неможливо.

Державне регулювання відходами пов'язано з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р «Національна стратегія управління відходами до 2030 р.». Ця програма повинна вирішити питання накопичення відходів як у промисловому, так і побутовому секторі, яке негативно впливає на стан навколишнього середовища і здоров'я людей; здійснення належним чином утилізації та видалення небезпечних відходів; використання відходів як вторинної сировини [3].

Вирішення цих проблематичних завдань є ключовим питанням енерго та ресурснезалежності України, економії природних матеріальних та енергетичних ресурсів. Але в реалізації 3-го етапу державної стратегії управління відходами негативні корегування внесло повномасштабне воєнне вторгнення агресора.

Вчасно набув чинності Закон України від 20.06.2022 р. № 2320-IX «Про управління відходами» зі змінами від 13.12 2022 р. Цей Закон визначає правові, організаційні, економічні засади діяльності щодо управління відходами.

17.11.2023 р. прийнята Постанова Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2023 р. № 1214 «Деякі питання віднесення речовин або предметів до побічних продуктів». Ця постанова набирає чинності з дня її опублікування та вводиться в дію через шість місяців з дня припинення або скасування дії правового режиму воєнного стану в Україні. Вона призначена для регулювання порядку та критеріїв віднесення речовин або предметів до побічних продуктів та затверджена згідно вимог статті 5 директиви Європарламенту та Ради ЄС 2008/98/ЄС.

Формуючи нормативну базу щодо управління відходами вітчизняним урядом взято досвід ряду європейських країн – це Велика Британія, Німеччина, Польща, Чехія, Болгарія та Сербія [4].

Управління відходами регулюється Європейським Союзом більше ніж 10 директивами.

Україною підписано угоди з ЄС згідно наступних трьох директив:

– Директива 1999/31/ЄС «Про захоронення відходів», яка базується на орієнтирі попередження і зменшення негативних наслідків захоронення відходів на навколишнє середовище і здоров'я людини;

– Директива 2006/21/ЄС «Про управління відходами видобувної промисловості», змістом якої є максимально можливе попередження та мінімізація будь-якого негативного впливу на довкілля та ризиків для здоров'я людини, що можуть виникати в результаті управління відходами видобувної промисловості;

– Директива 2008/98/ЄС «Про відходи», яка чітко регламентує питання утворення та поводження з відходами та запроваджує чітку структуру відходів.

На Україні 160 тисяч га вкриті промисловими відходами (мова йде про 36 млрд. тонн твердих відходів). Очевидно, що це серйозний виклик екології; страшний спадок, який отримують наші нащадки [5].

Тверді промислові відходи створюються підприємствами різних галузей промисловості (рис. 1), що накопичуються в техногенні родовища.

Проблема промислових відходів особливо гостро стосується й гірничо-збагачувальних підприємств Криворізького басейну, відходи, яких утворюються в процесі видобутку та збагачення руди.

Найбільший світовий гігант металургії ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» через відсутність прогресивних технологій використання відходів, більш ніж 150 млн. т їх щорічно поповнює відвали та борти шламосховищ. Вже нині на площі 13 тис. га Криворізького басейну накопичено 9,1 млрд. т промислових відходів і щорічно їх стає на 70–80 млн. т більше. Збільшуються земельні площі під відвали для зберігання пустих порід.

Критичні обсяги їх утворення та нагромадження зумовили загострення економічних, екологічних, соціальних проблем та вимагають термінових заходів. Сьогодні «АрселорМіттал Кривий Ріг» реалізує проект будівництва хвостосховища «Третя карта», який життєво необхідний для безпечного складування промислових відходів свого виробництва, так як кожен рік ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» складає близько 9 млн. кубометрів відходів виробництва – хвостів збагачення, тому введення в дію нового хвостосховища зменшить техногенне навантаження на регіон [5].

Промислове та цивільне будівництво в Криворізькому гірничорудному басейні пов'язано з проблемою як самого будівництва, так і подальшої експлуатації наземних та підземних конструкцій в умовах значної мінералізації ґрунтових вод. Стандартне забезпечення корозійної стійкості

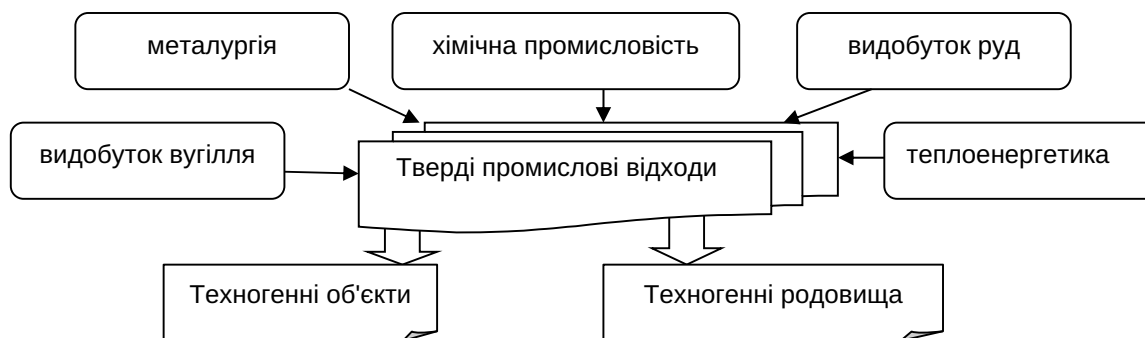


Рис. 1. Створення промислових відходів

Джерело: складено автором на базі джерела [5]

підземних бетонних та залізобетонних конструкцій відбувається завдяки застосуванню сульфатостійкого бетону з використанням пластифікаторів з протиковорозійними властивостями.

Проведений аналіз водної суспензії шламосховища виявив в її складі хлориди та сульфати натрія та заліза в кількості до 5000 мг./л., а дисперсність сухого залишку складають 280...430 м²/кг. Практичні дослідження проводилися на базі Індульського ГЗК [6].

Мінералізація води хвостосховищ Криворізького басейну за даними знаходиться в межах від 3,9 г/дм³ до 4,3 г/дм³. А за своїм хімічним складом це вода хлоридно-сульфатна кальцієво-магнієво-натрієва [7].

Мінеральний склад шлаків у хвостосховищах наступний – магнетит – 11,7%; кварц – 47,34%; гематит – 4,32%; карбонати – 3,70%; слюди і хлорид – 6,52%; амфібол і піроксен – 18,96%; інші – 3,88% [7]. Відмічається постійна тенденція до збільшення мінералізації підземних вод Криворізького басейну, особливо в районах розташування відвалів. Посилюється мінералізація підземних вод також і в місцях розташування житлових та цивільних об'єктів, в містах майбутньої забудови. Найбільша мінералізація вод території «Північного ГЗК» – 9,5г/дм³.

Запропонована та реалізована технологія використання органо-мінерального комплексу – пиловидного шламу з сульфатною суспензією до 20% з пластифікатором для підвищення коефіцієнту сульфатостійкості бетону на звичайних портландцементних та отримання антикорозійних властивостей бетонних та залізобетонних конструкцій. Змінюється пористість бетону, економиться витрата цементу. Виробництво сульфатостійкого бетону з залученням шламової суспензії (активної) проводиться методом барботування.

Пропонований ОМК надає можливість економії 20% цементу та антикорозійні властивості бетонній суміші і вирішує питання використання відходів.

Порівняємо вартість сульфатостійкого бетону з використанням сульфатостійкого цементу та

з звичайним портландцементом та органо-мінеральним комплексом (табл. 1).

При порівнянні ціна 1 м³ суміші сульфатостійкого бетону готового важкого крупності заповнювача 20–40 мм класу бетону В 7,5 [М100] – 1827, 71 грн., з ціною з використанням ресурсозберігаючої технології з використанням шламової суспензії – 1634,28 грн., отримуємо 10,58% вартісної економії.

Перспективи застосування такої технології значні – це зведення конструкцій в мінералізованому середовищі – фундаменти, мости і т.д.

При виплавленні однієї тонни сталі утворюється 650–700 кг твердих відходів – шлаків, шлаків, відходів металу, а утилізація доменних шлаків досягає до 80%.

Широко застосовується такі відходи чорної металургії, як шлак для виготовлення шлакопортландцементу, так як за своїм хімічним складом він тотожний з портландцементним клінкером, але все таки має менший вміст СаО. Це досить економічний вид цементу, так як на його виробництво витрачається умовного палива на 97–117 кг менше, ніж на виробництво 1т портландцементу тієї ж марки без добавки шлаку. Бетонні та залізобетонні конструкції з шлаколуужних бетонів відрізняються довговічністю, тривкістю і стійкістю до корозії. Спеціалістами Кривого Рогу у цій галузі накопичений великий досвід у використанні відходів гірничо-збагачувальних комбінатів в якості великих та малих наповнювачів при виробництві шлаколуужних бетонів.

Широко використовують шлак для виробництва шлакоблоків, як пемзу – заповнювач бетону, шлакову вату. Шлакоблок досить популярний будівельний універсальний матеріал, але з обмеженням в будівництві не більше ніж для 3 поверхових об'єктів.

Відходи металургійного виробництва утворюються безпосередньо вже на стадії видобутку руди. За інформацією голови Комітету з надрокористування Європейської Бізнес Асоціації з відходами гірничо-металургійної галузі втрачається 25–27% заліза [5].

Таблиця 1

Вартість порівняння сульфатостійкого бетону на сульфатостійкому цементі та з використанням ОМК

№ з/п	Сульфатостійкий бетон на сульфатостійкому цементі		Сульфатостійкий бетон з використанням ОМК	
	Склад	Вартість 1м ³ , грн.	Склад	Вартість 1 м ³ , грн.
1	В 7,5 [M100] Цемент 200 кг Пісок 800 кг Щебінь 1250 кг Вода 180 л	1827, 71	M100 Цемент 168 кг ОМК – 32 кг Пісок 800 кг Щебінь 1250 кг Вода 180 л	1634,28
2	В 10 M150 Цемент 225 кг Пісок 775 кг Щебінь 1250 кг Вода 180 л	1934,45	M150 Цемент 180 кг ОМК – 45 кг Пісок 775 кг Щебінь 1250 кг Вода 180 л	1756,67
3	M 200 Цемент 265 кг Пісок 735 кг Щебінь 1250 кг Вода 180 л	2011, 56	M200 Цемент 212 кг ОМК – 53 кг Пісок 735 кг Щебінь 1250 кг Вода 180 л	1897,55

Джерело: складено автором на базі джерела [6]

Підлісна О.А. та Філозоф В.М. на основі Державних класифікаторов надають наступну інформацію про вміст корисних елементів у промислових шлаках [8].

Досить перспективне використання шлаків в дорожньому будівництві як для асфальтобетонних, так і цементобетонних доріг; для рекультивациі сміттєвих полігонів.

Розплавлені шлаки використовують для виробництва вогнетривкого бетону.

Ректор Державної екологічної академії післядипломної освіти надає інформацію, що переробка шлакових відходів для їх використання в будівництві у 4–5 разів буде дешевше, ніж видобуток корисних копалин на глибині. Він надає наступну статистику – Швеція переробляє 93% шлаків, у деяких країнах Євросоюзу доходить до 100%, а на Україні від 5–30% [9].

Експерт Міністерства екології надає таку статистику – вітчизняна переробка шлаків складає тільки 7% проти 70% в ЄС [10].

Але в рамках реалізації державної політики управління відходами до 2025 р. формується з залученням підприємств гірничо-металургійної галузі, будівельних компаній «дорожня карта», задачі якої наблизити рівень використання відходів до рівня стран ЄС [10].

Шлаки кольорової металургії використовуються не більш ніж на 15%, що пов'язано з наявністю у відходах рідкісних і кольорових металів. Після вилучення зі шлаків корисних компонентів, їх використовують в будівельній індустрії при виробництві будівельних матеріалів та конструкцій – для залізобетонних конструкцій, глиняної, силікатної або жужільної цегли, для підсипки основ залізничної полотнини або автодоріг, мінеральної вати; а

Таблиця 2

Вміст корисних елементів у промислових шлаках

Вид шлаку	Перелік корисних елементів у промислових шлаках	Вихід шлаку	Ступінь утилізації
Шлак сталеплавильний	Марганець, залізо, окис кальцію, смарагди, сапфіри, топази, аметисти, димчатий і чорний агат, рідкісні метали і золоти	50	70
Шлак феросплавний	Залізо, карбонати, кремній	50	70
Шлак виробництву чавуну	Ванадій, марганець, ніобій, кремній, магній, кальцій, алюміній, залізо	50	80
Шлак передільний	Нікель, мідь, титан, ванадій	90	70
Шлак відвальний	Оксиди металів	90	10

Джерело: складено автором на базі джерела [8]

також в сільському господарстві – з них отримують добрива.

Знайшов застосування як теплоізоляційний матеріал шлакосиліт, отриманий із суміші шлаку, піску, глини й інших компонентів. Цей матеріал досить перспективний для застосування при виробництві підлог як теплоізоляційний матеріал, як антикорозійний матеріал для будівельних конструкцій, та для декоративного облицювання. Шлакосиліт має порівняно з іншими теплоізоляційними матеріалами невисоку вартість, поліпшену якість і можливість збільшення довговічності конструкцій.

Наведені дані свідчать про необхідність переходу до нових стратегій управління гірничо-збагачувальними підприємствами, орієнтованих на комплексну переробку мінеральних ресурсів.

Для кожного виду сировинних відходів (шлаки, шлами, щебінь, пемза, некондиційні руди тощо) необхідно виконати техніко-економічне обґрунтування вмісту залістистих та інших продуктів, застосування яких є економічно вигідним і може бути застосовано в будівництві та інших суміжних галузях промисловості.

Науковці пропонують інноваційні технології, за допомогою яких можна здійснювати комплексний, а іноді й селективний підхід до переробки промислових відходів гірничо-металургійної галузі [11].

Для відбудови нашої Батьківщини після ПЕРЕМОГИ потрібно посилювати конкурентні позиції будівельної галузі в напрямку мінімізації витрат, а ефективне рішення – це впровадження ресурсозберігаючих технологій.

Розв'язання цих проблем потрібно здійснювати за підтримкою на державному рівні шляхом впровадження ефективного законодавчого регулювання, яке повинно враховувати як національні особливості, так і застосовувати позитивний досвід відповідного законодавства провідних країн світу та системи державного мотивування.

Висновки з проведеного дослідження. Проведене нами дослідження вказує на те, що сучасний стан будівельної галузі потребує принципово новий підхід до використання матеріальних ресурсів. Напрямок досліджень науковців та стратегія на державному на регіональному рівнях повинні бути направлені на економічне, комплексне використання природних ресурсів, в напрямку утилізації відходів діяльності підприємств та життєдіяльності людей в руслі вторинного використання сировини, що дасть можливість посилити конкурентні позиції будівельної галузі та вирішити екологічні проблеми.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Україна зможе подолати сміттєву кризу. Що передбачає ухвалений Радою закон? URL:

<https://www.epravda.com.ua/publications/2022/06/20/688345/> (дата звернення: 28.04.2024).

2. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf/ (дата звернення: 28.04.2024).

3. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 08. 11. 2017 р. № 820-р «Національна стратегія управління відходами до 2030 р». Дата оновлення 09.2020 р. № 826. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=74453 (дата звернення: 03.05.2024).

4. Відходи виробництва отримати «друге життя» в Україні – Міндовкілля. URL: <https://suspiilne.media/621659-vidhodi-virobnictva-otrimati-druge-zitta-v-ukraini-mindovkillia/> (дата звернення: 04.05.2024).

5. Як вирішити проблему утилізації відходів. URL: https://biz.nv.ua/ukr/experts/kashuk_d/jak-virishiti-problemu-utilizatsiji-vidhodiv-2178636.html (дата звернення: 04.05.2024).

6. Кадол Л.В. Сульфатостійкий бетон на звичайних портландцементях з органо-мінеральним комплексом: дис. ...к-та техн. наук: 05.23.05. Дніпропетровськ, 1999. 158 с.

7. Дослідження екологічного стану територій пост-майнінгу в Україні на прикладі Криворізького басейну та його оточення: монографія / за заг. наук. ред. М.М. Коржнев. Київ, 2021. 196 с.

8. Підлісна О.А., Філозоф В.М. Економічна ефективність використання вторинних відходів промисловості. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2011. № 8. С. 173–178. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/47218943.pdf> (дата звернення: 04.05.2024).

9. Збільшення обсягів використання шлакових відходів у будівництві дасть вражаючий економічний ефект. URL: <https://www.unian.ua/economics/finance/10599612-pererobka-shlakiv-u-5-raziv-deshevsha-nizh-vidobutok-korisnih-kopalin-naukovec.htm> (дата звернення: 04.05.2024).

10. В Україні переробка шлаків складає 7% проти 70% в ЄС – експерт Мінекології. URL: <https://www.unian.ua/economics/finance/10599609-v-ukraine-pererabotka-shlakov-sostavlyaet-7-protiv-70-ves-ekspert-minekologii.ht> (дата звернення: 04.05.2024).

11. Кияшко В.Т., Салій І.В., Яковенко Л.О., Малиновський Ю.О. Перспективні напрями утилізації відходів гірничо-збагачувального виробництва. *Екологічні науки*. 2020. № 4 (31). С. 103–106. URL: <http://eoj.dea.kiev.ua/archives/2020/4/17.pdf> (дата звернення: 04.05.2024).

REFERENCES:

1. Ukraina zmozhe podolaty smittievu kryzu. Shcho peredbachaie ukhvalenyi Radoiu zakon? [Ukraine will be able to overcome the garbage crisis. What does the law adopted by the Council envisage?]. Available at: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/06/20/688345/> (accessed Kviton 28.2024).

2. Zvit pro priami zbytky infrastruktury vid ruinvan vnaslidok viiskovoi ahresii rosii proty Ukrainy za

rik vid pochatku povnomashtabnoho vtornennia [Report on the direct damage to the infrastructure from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine one year after the start of the full-scale invasion]. Available at: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf/ (accessed Kviten 28.2024).

3. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 08. 11. 2017 r. # 820-r «Natsionalna stratehiia upravlinnia vidkhodamy do 2030 r.» [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated November 8, 2017 No. 820-r "National waste management strategy until 2030"] [Data onovlennia 09. 2020 r. № 826. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=74453 (accessed Berezen 28.2024).

4. Vidkhody vyrobnytstva otrymaty «druhe zhyttia» v Ukraini – Mindovkillia [Waste of the hope to get a "second life" in Ukraine – Mindovkillia]. Available at: <https://suspilne.media/621659-vidhodi-virobnictva-otrimati-druhe-zitta-v-ukraini-mindovkillia/> (accessed Berezen 04.2024).

5. Yak vyrishyty problemu utylizatsii vidkhodiv [How to solve the problem of waste disposal]. Available at: https://biz.nv.ua/ukr/experts/kashuk_d/jak-virishiti-problemu-utilizatsiji-vidhodiv-2178636.html (accessed Berezen 04.2024).

6. Kadol L.V. (1999) *Sulfatostiiky beton na zvychnykh portlandsementakh z orhano-mineralnym kompleksom* [Sulfate-resistant concrete on ordinary Portland cement with an organo-mineral complex]: dys.. ...k-ta tekhn. nauk: 05.23.05. Dnipropetrovsk. (in Ukrainian)

7. Doslidzhennia ekolohichnoho stanu terytorii post-maininhu v Ukraini na prykladi Kryvorizkoho baseinu

ta yoho otochennia [Study of the ecological state of post-mining territories in Ukraine using the example of the Kryvyi Rih Basin and its surrounding] : monohrafiia / za zah. nauk. red. M.M. Korzhnev. Kyiv, 2021. (in Ukrainian)

8. Pidlisna O.A., Filozof V.M. (2011) *Ekonomichna efektyvnist vykorystannia vtorynnykh vidkhodiv promyslovosti* [Economic efficiency of the use of secondary industrial waste]. *Ekonomichnyi visnyk NTUU «KPI»*, vol. 8, pp. 173–178. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/47218943.pdf> (accessed Berezen 04.2024). (in Ukrainian)

9. Zbilshennia obsiahiv vykorystannia shlakovykh vidkhodiv u budivnytstvi dast vrazhaiuchy ekonomichnyi efekt [Increasing the use of slag waste in construction will have an impressive economic effect]. Available at: <https://www.unian.ua/economics/finance/10599612-pererobka-shlakiv-u-5-raziv-deshevsha-nizh-vidobutok-korisnih-kopalin-naukovec.htm> (accessed Berezen 04.2024).

10. V Ukraini pererobka shlakiv skladaie 7% proty 70% v YeS – ekspert Minekologii [In Ukraine, slag processing is 7% compared to 70% in the EU – an expert of the Ministry of Ecology]. Available at: <https://www.unian.ua/economics/finance/10599609-v-ukraine-pererobka-shlakov-sostavlyaet-7-protiv-70-v-es-ekspert-minekologii.ht> (accessed Berezen 04.2024).

11. Kyiashko V.T., Salii I.V., Yakovenko L.O., Malynovskiy Y.O. (2020) *Perspektyvni napriamy utylizatsii vidkhodiv hirnycho-zbahachuvalnoho vyrobnytstva* [Promising directions of utilization of mining and beneficiation production waste]. *Ekolohichni nauky*, vol. 4 (31), pp. 103–106. (in Ukrainian)