

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ХВОСТОСХОВИЩА РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОНТРОЛЬНИХ СПИСКІВ

Рудаков Л.М.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро
rudakov.l.m@dsau.dp.ua

В Україні побудована велика кількість шламо- та хвостосховищ, які займають значні площі території та утримують великі об'єми небезпечних для навколишнього середовища речовин. Основним недоліком хвостосховищ, які проектувались і будувались понад 70 років тому, є невідповідність сучасним вимогам екологічної та технічної безпеки. Світовий досвід експлуатації та аналіз значної кількості аварій, дозволили на сьогодні розробити ряд методичних та організаційних підходів до підвищення загального рівня безпеки таких об'єктів. Найбільш розповсюдженим є застосування так званих «контрольних списків». Тобто переліку основних критеріїв та показників їх впливу на безпеку об'єкта. Відповідно до даної методики виділяється 12 основних критеріїв, які розподілені на групу критичних та некритичних по відношенню до безпеки хвостосховищ. Показники експертної оцінки за критеріями контрольного списку надають можливість визначити достовірність та встановити рівень відповідності сучасним вимогам безпеки.

У якості об'єкту досліджень обрано хвостосховище радіоактивних відходів у місті Кам'янське (Дніпропетровська область, Україна). За результатами експертних відповідей на 304 питання контрольного списку встановлено, що відповідність вимогам безпеки знаходиться на рівні 31% при достовірності наданих відповідей 66%. Визначено, що найбільш проблемними питаннями безпеки є критерії: «оцінка впливу на навколишнє середовище», «стратегія закриття та рекультивация» та «управління водними потоками». Отримані результати показують можливість оперативного застосування контрольного списку на першочергових етапах визначення рівня безпеки хвостосховищ, дозволяють визначити «слабкі місця» та розробити плани дій для обґрунтованої системи моніторингу технічного стану та попередження аварійних ситуацій на таких об'єктах. Показано перспективи для подальшої розробки і впровадження нових підходів, методів та засобів для підвищення загального рівня безпеки хвостосховищ на різних рівнях і стадіях проектування, будівництва, експлуатації, закриття та рекультивации. *Ключові слова:* екологічна безпека, хвостосховище, радіоактивні відходи, контрольний список.

Environmental safety level assessment of radioactive waste tailings storage facilities using checklists. Rudakov L.

A large number of slag and tailings storage facilities have been built in Ukraine, they occupy large areas and hold great volumes of environmentally hazardous substances. The main drawback of tailings storage facilities, which were designed and built more than 70 years ago, is the inconformity to modern environmental and technical safety requirements. World operational experience and analysis of a significant number of accidents have allowed to develop a range of methodical and organizational approaches to increasing the general level of safety of such facilities. The most widespread one is the use of so-called "checklists", namely, the lists of the main criteria and indicators of the influence on the object's safety. According to this methodology, 12 main criteria are distinguished, and they are divided into critical and non-critical groups in relation to the safety of tailings. Indicators of expert assessment based on checklist criteria provide an opportunity to determine reliability and to establish the level of conformity to modern security requirements.

The radioactive waste tailings storage dump in the town of Kamianske (Dnipropetrovsk region, Ukraine) was chosen as the object of research. According to the results of expert answers to 304 questions of the checklist, it was established that conformity to security requirements is at the level of 31%, with the reliability of the given answers of 66%. It was determined that the criteria "environmental impact assessment", "closure strategy and reclamation" and "water flow management" are the most problematic safety issues. The obtained results show the possibility of checklist effective application at the primary stages of determining the safety level of tailings storage facilities, the allowance to identify "weaknesses" and to develop action plans for a reasonable system of monitoring the technical condition and prevention of emergency situations at such facilities. Prospects for further development and implementation of new approaches, methods and means for increasing the general level of safety at tailings storage facilities at various levels and stages of design, construction, operation, closure and reclamation are shown. *Key words:* environmental safety, tailings storage facilities, radioactive waste, checklist.

Постановка проблеми. Активний розвиток різних галузей економіки в середині минулого сторіччя призвів до створення і накопичення значних обсягів відходів виробництва. Побудовані шламонакопичувачі та хвостосховища займають значні площі території та наносять шкоду навколишньому природному

середовищу. На сьогодні найбільш суттєвою проблемою екологічної безпеки таких споруд є збільшення кількості аварій та масштабів їх негативних наслідків [1]. Загрози екологічного, соціального та економічного характеру, які потенційно несуть накопичувачі відходів, обґрунтовують необхідність перегляду

сучасних підходів до всіх стадій (проектування, будівництво, експлуатація, закриття та рекультивация) життєвого циклу об'єктів. Серед ключових варто відмітити необхідність збільшення уваги до таких об'єктів, пошуку нових методів оцінювання і моніторингу їх стану, підвищення рівня загальної екологічної і технічної безпеки [2, 3]. Відмітимо, що значна кількість накопичувачів, зокрема і хвостосховища радіоактивних речовин, вичерпали нормативні терміни своєї експлуатації і, подекуди, покинуті без відповідної процедури закриття та рекультивации. Через відсутність належного фінансування і моніторингових контрольних спостережень під час експлуатації, а також на непрацюючих об'єктах, існують ризики збільшення частоти аварій та порушень стану конструкцій огорожувальних дамб [4, 5].

Актуальність дослідження. Значний перелік окреслених проблемних питань, а також потенційно можливі масштаби катастрофи у випадку аварій, обґрунтовують актуальність та необхідність проведення відповідних досліджень. Основою є пошук сучасних методичних підходів та розробка відповідних організаційних, технологічних та технічних заходів щодо забезпечення належного рівня екологічної та технічної безпеки накопичувачів промислових відходів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дана роботи тісно пов'язана зі світовим та вітчизняним досвідом експлуатації шламо- та хвостосховищ. Зокрема із забезпеченням та дотриманням норм чинних стандартів України [6], виконанням різноманітних цільових програм державного та світового рівнів, які покликані підвищити екологічну безпеку хвостосховищ [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забезпеченню екологічної безпеки накопичувачів промислових відходів присвячена значна кількість наукових публікацій. В роботі [8] авторами розглянуто можливість використання геофізичних методів досліджень для встановлення меж відпрацьованих радіоактивних хвостосховищ та встановлення технічного стану огорожувальних дамб. Розвиток та сумісна розробка багатьох країн Європейського Союзу дозволили напрацювати практику оцінювання безпеки хвостосховищ з використанням контрольних списків [9]. Закордонний досвід активно використовується і вітчизняними вченими. У дослідженні [11] представлена практика застосування та адаптації контрольних списків для оцінювання безпеки ґрунтових дамб і гребель на природних водотоках. Питання визначення рівня екологічної безпеки накопичувачів промислових відходів широко представлено в роботах [10, 12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для реального стану екологічної безпеки накопичувачів відходів в Україні характерний ряд

проблем. Перш за все – це невідповідність прийняття організаційних, технічних, технологічних та конструктивних рішень у минулому, що на сьогодні призвели до значних загроз внаслідок негативного впливу шламо- та хвостосховищ на навколишнє середовище. Така ситуація потребує першочергового та швидкого пошуку нових поглядів, підходів та методів для вирішення питання з підвищення екологічної безпеки цих об'єктів.

Новизна. Полягає у застосування передового світового досвіду з управління та забезпечення безпеки хвостосховищ на реальних об'єктах на території України. В подальшому це дозволить реалізувати принципи, підходи та процедури з підвищення рівня екологічної та технічної безпеки накопичувачів відходів у відповідності до сучасних вимог.

Методологічне або загальнонаукове значення. Адаптація методики оцінки безпеки хвостосховища із застосуванням контрольного списку та пошук науково-практичних шляхів вирішення проблеми екологічної безпеки хвостосховищ на різних стадіях їх життєвого циклу.

Викладення основного матеріалу. *Об'єктом* дослідження виступає відпрацьоване та закрите хвостосховище радіоактивних відходів у місті Кам'янське Дніпропетровської області (рис. 1). Тривалий час місто було одним із центрів з переробки уранової сировини. Внаслідок виробничої діяльності підприємств у місті склалася напружена ситуація з радіаційним забрудненням всіх компонент навколишнього середовища (ґрунти, повітря, вода), що негативно позначається на соціальних та економічних аспектах здоров'я населення [8]. Навколо підприємств, задіяних у технологічних процесах уранового виробництва, за 70 років накопичилася велика кількість відходів, які знаходяться у хвостосховищах та відстійниках.

Проектування, будівництво та експлуатація хвостосховища здійснювалась багато років тому, коли напрацювання теоретичного та практичного досвіду поводження з такого типу об'єктами були недостатніми для відповідності сучасним вимогам екологічної безпеки. З плином часу, занепадом промислового виробництва та закриттям хвостосховища, постала необхідність його постійного моніторингу і контролю показників безпеки, технічного нагляду та догляду.

З метою належного оцінювання рівня безпеки хвостосховища були застосовані сучасні методи та підходи, які є рекомендаціями різноманітних світових організацій з контролю та впливу небезпечних об'єктів на довкілля та транскордонне забруднення [9]. Основою методики є інформація про стан безпеки хвостосховища згідно з контрольним листом, питання якого надають розширену характеристику основним складовим елементам безпеки досліджуваного об'єкта [9–10]. Даними для контрольного листа виступають показники оцінки експер-

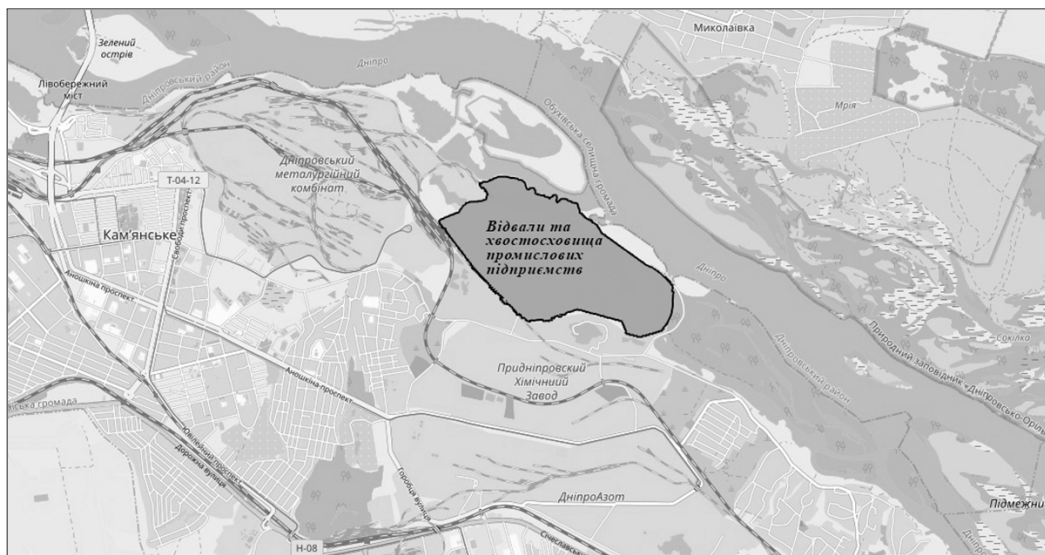


Рис. 1. Оглядова карта розташування об'єкту досліджень

тів (аудиторів), наявна документація, дані, натурні дослідження та інструментальні спостереження за станом хвостосховища [11]. Такий контрольний список визначає ряд критеріїв та їх пріоритетність для безпеки хвостосховища за наступним принципом (рис. 2).

В залежності від можливості застосування питання та доцільності надання відповіді, загальна

кількість критеріїв може сягати від декількох десятків до сотень питань. Всього виділяється 12 основних критеріїв, які в свою чергу поділяються на критичні та некритичні [9]. Експертна оцінка здійснюється шляхом надання одного з варіанту відповіді: «так», «скоріше так», «скоріше ні» та «ні». Кожному з критеріїв присвоюється свій бал оцінювання в аналогічному порядку зменшення від 3 до 0.



Рис. 2. Контрольний список критеріїв для визначення рівня безпеки хвостосховища та їх скорочення (аббревіатури)

Достовірність отриманих результатів забезпечується шляхом надання чіткого варіанту відповіді, тобто критерій «так» або «ні». За узагальненими результатами опрацювання всього контрольного списку з графіку залежності встановлюють достовірність та відповідність вимогам безпеки хвостосховища [10].

Таким чином, у даному дослідженні для досягнення основної мети необхідно вирішити наступні задачі: 1) провести експертне оцінювання об'єкту дослідження за приведеною методикою; 2) оцінити достовірність отриманих результатів та встановити фактичну відповідність вимогам безпеки (ВВБ); 3) проаналізувати показники оцінки для всіх критеріїв контрольного списку (12 параметрів) та встановити пріоритетні заходи для підвищення рівня екологічної безпеки хвостосховища; 4) надати рекомендації щодо розробки перспективних завдань та плану дій для мінімізації ризиків виникнення аварії та подальшої рекультивациі хвостосховища.

Результати досліджень наступні. Загальна кількість питань за всіма категоріями оцінювання складала 304 позиції. Серед них ствердну (однозначну) відповідь «так» чи «ні» отримано на переважну більшість питань – 201. Відповіді «скоріше так» і «скоріше ні» надано на 103 питання (рис. 3). Загальне відсоткове співвідношення питань, що визначають достовірність отриманих результатів складає 66% та 34% – питання, що не мають однозначної відповіді.

Співставлення отриманих результатів дозволяє представити рівень безпеки хвостосховища у вигляді графіку (рис. 4). Визначено, що на сьогодні відповідність діючим вимогам безпеки хвостосховища забезпечується лише на 31%. Такий показник можна вважати надзвичайно низьким з огляду на небезпеку об'єкту та потенційні загрози навколишньому середовищу.

Серед основних критеріїв, що відповідають параметрам безпеки варто відзначити задовільний показник «тренінги та підготовка персоналу». Перш за



Рис. 3. Кількісне та відсоткове співвідношення відповідей при оцінюванні рівня безпеки хвостосховища

все це пов'язано з класом наслідків (відповідальності) об'єкта, фаховою спрямованістю робітників та постійним підвищенням рівня їх кваліфікації щодо поводження з радіоактивними відходами. Дещо нижчими є показники «перевірка та звітність», що, в певній мірі, забезпечується попереднім обґрунтуванням. Всі інші параметри знаходяться в досить низьких межах оцінювання і фактично не перевищують показника 30–40% від сучасних вимог безпеки (рис. 5).

Особлива небезпека відмічається за критеріями «оцінка впливу на навколишнє середовище», «стратегія закриття та рекультивациія» та «управління водними потоками». Перші два критерії об'єктивно не виконуються через відсутність належного фінансування та розробки програми на багато років наперед, яка поступово вирішувала б питання повноцінного закриття та рекультивациія даного об'єкту. Здебільшого проводяться лише точкові моніторингові спостереження за візуальним станом хвостосховища і рівнем радіаційного забруднення. Але відсутня системність комплексного оцінювання впливу

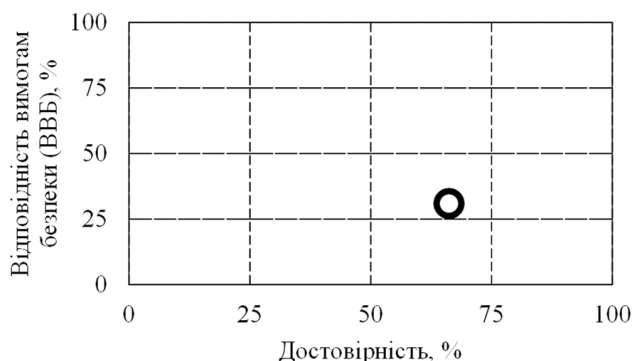


Рис. 4. Графічне представлення оціненого рівня безпеки хвостосховища

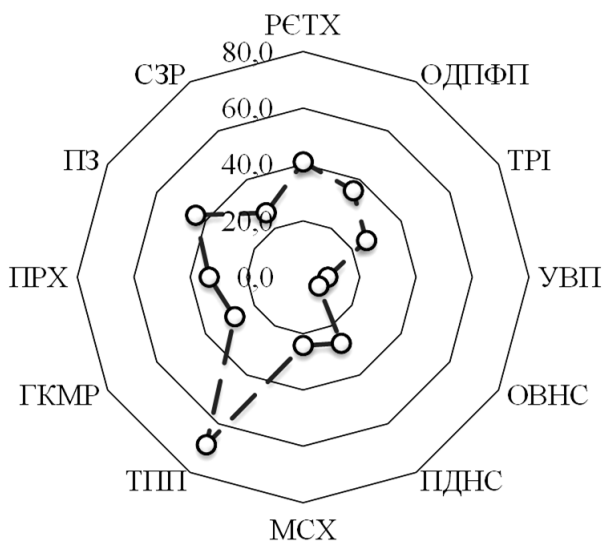


Рис. 5. Діаграма оцінки критеріїв безпеки хвостосховища

на ґрунти, повітря, міграції радіоактивних речовин у ґрунтові та поверхневі води тощо. Управління водними потоками є найбільш «вразливим місцем» забезпечення безпеки. Оскільки хвостосховище проектувалось і будувалось понад 70 років тому, на сьогодні відсутні належні технічні та конструктивні елементи такі як: протифільтраційне покриття, дренажні пристрої, організований збір та відвід забруднених вод тощо. Фактично вся вода, яка надходить у вигляді атмосферних опадів, інфільтрується у водоносні горизонти через чашу хвостосховища та потрапляє у поверхневі води через ґрунтові дамби обвалування.

Висновки та рекомендації. За результатами досліджень встановлено наступне: 1) дотримання та впровадження у вітчизняну практику сучасних вимог та норм до забезпечення рівня екобезпеки з використанням відповідних методичних підходів дозволяє підвищити безпеку хвостосховищ на різних стадіях і рівнях: проектування, будівництво, експлуатація, закриття та рекультивация; 2) для досліджуваного хвостосховища встановлено, що загальний рівень екологічної безпеки при відповідності до вимог знаходиться на низькому рівні (31%) при достовірності отриманих результатів у 66%; 3) визначені найбільш уразливі складові критеріїв безпеки, якими є: «оцінка впливу на навколишнє середовище», «стра-

тегія закриття та рекультивация» та «управління водними потоками»; 4) Основними рекомендаціями для підвищення рівня екологічної безпеки можуть бути наступні: розробка заходів та технічних рішень по організованому збору та відведенню води, яка надходить з атмосферними опадами; організація та фінансування досліджень по встановленню шляхів міграції та кількісному визначенню виносу радіоактивних речовин; облаштування оглядових свердловин по визначенню рівня депресійної кривої та порового тиску в тілі ґрунтової дамби обвалування; розробка та планування заходів по належному закритті та рекультивации хвостосховища; необхідність повноцінного дослідження та забезпечення постійно діючої системи моніторингу впливу хвостосховища на компоненти навколишнього природного середовища (ґрунти, вода, повітря).

Перспективи використання результатів дослідження. Застосування контрольного списку на першочергових етапах визначення рівня безпеки хвостосховищ, дозволяє визначити «слабкі місця» та розробити плани дій для системи моніторингу та попередження аварійних ситуацій. Це дозволить в подальшому розробити нові підходи та засоби для підвищення загального рівня безпеки таких об'єктів на різних рівнях проектування, будівництва, експлуатації, закриття та рекультивации.

Література

1. WISE (World Information Service on Energy): Chronology of major tailings dam failure, 2020. Available at: <https://www.wise-uranium.org/indexm.html>
2. Napich, H. V. (2013). Assessment of the technical condition of earth dams as an element of the environmental monitoring system of territories. Coll. works of National Mining University, 42, 168–173. <https://core.ac.uk/download/pdf/168413168.pdf>
3. Safety Guidelines and Good Practices for Tailing Management Facilities, (2014), UNECE.
4. Azam S., Li Q. (2010). Tailings dam failures: A review of the last one hundred years, *Geotech.* 28, 50–53.
5. Napich, H., Pikarenia, D., Rudakov, L., Maximova, N., & Makarova, T. (2020). Assessment of the accident risk and calculation of the failure processes in terms of the earth dike of a tailing dam. *Municipal Economy of Cities*, 3(156), 99–104. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-3-156-99-104>
6. ДБН України В.2.4-5:2012. Хвостосховища та шламонакопичувачі. Міністерство регіонального розвитку України. К., 2012, 71 с.
7. Tailings Management. Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry, (2007), Australian Government Department of Industry, Tourism, and Resources.
8. Пикареня Д.С., Орлинская О.В., Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Гапич Г.В. (2013). Исследование хранилищ отходов переработки радиоактивных руд методом естественного импульсного электромагнитного поля земли в Днепропетровске. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 43, 129–136. Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/168412665.pdf>
9. Sectoral Checklist for preparation and inspection of a safety report. UNECE convention on the transboundary effects of industrial accidents & the EU Directive 96/82/EC (SEVESO II) by a consistent Checklist system (2007). Federal Ministry for the environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety of Germany, Umweltbundesamt, UNECE Convention on Transboundary Effects of Industrial Accidents.
10. Nikolaieva I.O., Rudakov D.V. (2015). Development of a checklist for improvement of tailings safety. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* 2, 97–103.
11. Napich, H. (2019). Assessing level of environmental and operational safety of low-pressure hydroengineering structures. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 4, 46–52. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.4.46-52>
12. Winkelmann-Oei G., Rudakov D., Shmatkov G., Nikolaieva I. (2015). A method for evaluation of tailings hazard. *New Developments in Mining Engineering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining* / editors Bondarenko V., Kovalevska I., Pivnyak G. London: Taylor & Francis Group, pp. 33–38.