

УДК 504.5.06+622.69:620.162
№ держреєстрації 0124U001866

Товариство з обмеженою відповідальністю
«ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
69008, м. Запоріжжя вул. Південне шосе 80



ЗАТВЕРДЖУЮ

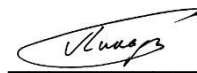
проректор з науково-дослідної роботи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Володимир КУХАР
«23» січня 2025 року

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
«Вдосконалення методики оцінки технічного стану
огороджувальних дамб хвостосховищ та шламонакопичувачів»
(проміжний)

Етап 1. Аналіз причин руйнування огороджувальних дамб
хвостосховищ та шламонакопичувачів

Науковий керівник, д.г.н., професор



Дмитро ПІКАРЕНЯ

«27» грудня 2024 року

2024

Рукопис закінчено «27» грудня 2024 року

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», протокол
№ 6 від «23» січня 2025 року

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, Д-р геол. наук, професор		Дмитро ПІКАРЕНЯ (вступ, розділ 1, 2)
Відповідальний виконавець, д-р геол. наук, професор		Ольга ОРЛІНСЬКА (вступ, розділ 1, 2 висновки)
Виконавець, канд. техн. наук, доцент		Наталія МАКСИМОВА (розділ 1)
Виконавець, канд. техн. наук, доцент		Микола РЕПІН (розділ 1)
Виконавець		Олена НАКЕМПІЙ (розділ 1, 2)

РЕФЕРАТ

ЗВІТ про НДР: 24 с., 15 джерел.

Ключові слова: *хвостосховище, аварія, інцидент, технічний стан дамб, аналіз причин, гірниче підприємство*

Об'єкт дослідження – процеси погіршення технічного стану огорожувальних дамб хвостосховищ та шламонакопичувачів.

Мета роботи – дослідити існуючі методи оцінки технічного стану дамб хвостосховищ гірничозбагачувальних комбінатів та шламонакопичувачів металургійних підприємств, запропонувати комплекс методів оцінки технічного стану дамб.

Предмет дослідження: небезпечні природні та антропогенні процеси, що призводять до погіршення технічного стану огорожувальних дамб, методи визначення ділянок дамб з порушеним технічним станом.

Результати та їх новизна: проаналізовані випадки інцидентів на хвостосховищах України та світу, встановлені причини, що призвели до розвитку аварійних ситуацій.

Інформація щодо впровадження – навчальний процес, науково-дослідна робота.

Рекомендації щодо використання – Залізорудні гірничо-видобувні та збагачувальні підприємства, металургійні комбінати України.

Сфера застосування: підприємства гірничо-металургійного комплексу України.

Значимість роботи: екологічна безпека територій провадження гірничовидобувної діяльності.

Висновки, пропозиції щодо розвитку об'єкта дослідження й доцільності продовження досліджень: продовження досліджень на етапі II – Розробка методики візуального обстеження технічного стану огорожувальних дамб.

Умови одержання ЗВІТУ: за запитом.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 НАЙКРУПНІШІ АВАРІЇ НА ХВОСТОСХОВИЩАХ У ХХІ СТОЛІТТІ	7
1.1 Аварії на закордонних хвостосховищах	7
1.2 Аварії на хвостосховищах гірничо-видобувних підприємств в Україні	10
2 АНАЛІЗ АВАРІЙ НА ХВОСТОСХОВИЩАХ У СВІТІ	16
ВИСНОВКИ	21
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	22

ВСТУП

У світі налічується 29 000-35 000 існуючих, недіючих і занедбаних хвостосховищ, в яких складовано приблизно 223 млрд тонн (534 млрд м³) відходів. Щорічно при видобутку 18-20 млрд. т корисних копалин у світі утворюються 80-90 млрд. т порожньої породи та 8 млрд. т (19 млрд. м³) хвостів. В даний час на кожен мільйон тонн видобутої мінеральної сировини необхідні фізичні та економічні ресурси для розміщення 4,9 млн. тонн порожньої породи та хвостів.

Середній обсяг хвостосховища становить 17 мільйонів м³. З 1950 зареєстровано 118 інцидентів категорії серйозних або дуже серйозних, з яких 11 (9%) припадає на хвостосховища подібного або більшого обсягу. На думку порталу worldminetailingsfailures.org [1], це вказує на те, що майбутні «дуже серйозні» та «серйозні» відмови будуть мати значно більшу величину. Збереження нинішніх умов та тенденцій з боку пропозиції призведе до 18 катастрофічних відмов хвостосховищ у період з 2015 по 2024 рік. Вже сталося дев'ять «дуже серйозних» та 5 «серйозних» відмов. Очікувалося, що масштаби прогнозованих 18 інцидентів у 2015-2024 роках будуть набагато більшими, ніж найбільш катастрофічні події, які вже відбулися. На це впливають три фактори:

1. Більшість існуючих хвостосховищ виходять за рамки проекту, зважаючи на необхідність складування все більших обсягів хвостів;
2. Багато хвостосховищ, у яких передбачається розмістити п'ятирічний обсяг відходів, є старими, «потенційно небезпечними» хвостосховищами без чітко визначеного терміну експлуатації об'єкта та без ретельного незалежного аналізу стійкості;
3. Прагнення гірничодобувної галузі до переробки руд з невисокими концентраціями призведе до збільшення зволоження хвостових

матеріалів і більш інтенсивного обводнення огорожувальних дамб, що збільшить ризик статичного руйнування (обвалення в результаті зсуву, викликаного напруженнями у самому хвостосховищі).

Прогнозується, що буде утворено протягом 5 років 40-50 млрд. тонн хвостів (95-120 млрд. м³). Майже все це буде у вигляді звичайної пульпи, що розміщується у вже існуючих наземних хвостосховищах, приблизно 50-65% з яких було збудовано до 1990 року. Загальний світовий обсяг хвостосховищ станом на 2025 рік складе 640 млрд. м³.

В активні об'єкти, а це приблизно в 16 000 хвостосховищ, що діють в даний час, надійде додатково 95-120 млрд м³хвостів, таким чином, на кожне активне хвостосховище надходитиме в середньому 6 млн м³на додаток до 17 млн м³ існуючих відкладень. Загалом прогнозується збільшення розміру кожного активного об'єкта на 35%, приблизно на 7% на рік.

1. НАЙКРУПНІШІ АВАРІЇ НА ХВОСТОСХОВИЩАХ У ХХІ СТОЛІТТІ

Розподіл кількості аварій за типом огорожувальних споруд вказує на істотно підвищений ризик аварій для наливних дамб, що споруджуються вгору за течією: із загальної кількості 172 аварійних випадків з ідентифікованим типом греблі 88 або 51,2% зареєстровано для дамб саме цього типу, а всі інші випадки сталися на греблях інших типів.

Найбільш небезпечними з точки зору аварійності неактивних хвостосховищ є сейсмічні прояви та переповнення проектної ємності: 25-30% усіх аварій, спричинених цими факторами, припадає на неактивні об'єкти. Для активних об'єктів найбільш вагомим є фактор стійкості схилу дамби, який спричинив майже третину всіх аварій.

Таким чином, при оцінці рівня безпеки хвостосховищ необхідно ретельно враховувати в методиках, що розробляються, такі параметри хвостосховища, як порушення стійкості схилу дамби, сейсмічні прояви, гідрологічні та гідрогеологічні явища, структурну цілісність об'єкта тощо.

Розглянемо причини деяких крупних аварій на хвостосховищах з наливними дамбами [2].

1.1. Аварії на закордонних хвостосховищах

Аварія на хвостосховищі Брумадінью, Бразилія, в 2019 році. Аварія на греблі хвостосховища, яке належить компанії Vale, відбулася, на думку експертів, за рахунок підйому води в хвостосховищі під час великих злив, що привело до провалу і розмиву дамби. Після прориву бруд потрапив в адміністративну зону шахти, а також у "Vila Ferteco" невелику громаду, яка розташована приблизно за 1 кілометр від шахти. Під час провалу і розмиву дамби витекло близько 12 млн м³ хвостів.

Національне агентство водних ресурсів (ANA) Бразилії заявило, що хвости можуть забруднювати понад 300 кілометрів річки Парапеба, головної річки регіону, яка постачає водою третину регіону Велика Белу-Орізонті.

Ще одна катастрофа сталася в Бразилії на залізорудному родовищі під час прориву на дамбі діючого хвостосховища Бенто Родрігес або Самарко, в 2015 році. В результаті відбулася повінь, яка спустошила села Бенто-Родрігес та Паракату-де-Байшо (40 км від Бенто-Родрігеса), внаслідок чого загинуло 19 людей. Ступінь збитків, заподіяних обвалом дамби, є найбільшим із коли-небудь зафіксованих, коли забруднюючі речовини поширюються вздовж 668 кілометрів (415 миль) водотоків. Причиною аварії, як вважають фахівці, стали зливи, що привели до переповнення хвостосховища і руйнації дамби.

Аварія на Ріддерському гірничо-збагачувальному комбінаті ТОО «Казцинк», Казахстан. 22 травня 2016 року на Таловському хвостосховищі сталося руйнування частини конструкції системи відводу зворотньої води, в результаті якого стався аварійний скид хвостів з подальшим потраплянням в річку Пилипівка, потім в річки Тиха і Ульба. За розрахунком маркшейдерського відділу Ріддерського ГЗК ТОО "Казцинк" в результаті аварії обсяг витоку з Таловського хвостосховища склав 394 452 кубічних метра.

Аварія хвостосховища компанії Талвіваара в Фінляндії в 2012 році. В Фінляндії у центральній частині Суомі на шахті з видобутку нікелю "Талвіваара", що знаходиться в однойменному населеному пункті, стався витік забруднених вод з високим вмістом нікелю і урану. Перший витік в гіпсовому відстійнику хвостосховища утворився ще 4 листопада. Тоді швидкість потоку отруйних речовин становила 5-6 тисяч кубічних метрів на годину. За тиждень екстрено були побудовані чотири тимчасові дамби, які

повинні були зупинити витік вод, який містив високі концентрації нікелю і урану. Забруднені води поширилися на багато кілометрів. Всі струмки і озера, що знаходяться поблизу, забруднені нікелем – токсичним важким металом. За даними Центру радіаційної і ядерної безпеки, в одному з струмків в трьох кілометрах від Талвіваара концентрація урану в 50-80 разів перевищувала норму.

Аварія на сховищі шламу алюмінієвого виробництва в Колонтарі (Угорщина) в 2010 році. 4 жовтня 2010 року на заході Угорщини на великому заводі з виробництва алюмінію в результаті руйнування дамби хвостосховища з токсичними відходами близько 700 тисяч кубометрів їдкого речовини – так званого червоного шламу, прорвавши греблю, залили 3-метровим потоком міста Колонтар і Дечеве, а також газопровід та залізничні шляхи. Через це зупинили рух поїздів на лінії Будапешт-Сомбатхей.

Аварія в Байя Марє, Румунія в 2000 році. Витік ціаніду в Бая-Марє стався 30 січня 2000 року в румунському місті Бая-Марє, де підприємство проводило збагачення золоторудного концентрату. В результаті витіку з хвостосховища 100 тисяч кубічних метрів води, які містили ціанід, забруднення потрапило в річку Сомеш, потім в Тису і Дунай.. Після розливу допустимий рівень ціаніду в річці Сомеш виявився перевищений більш ніж в 800 разів. Крім ціаніду, в річці опинилися важкі метали, які надали тривалий негативний вплив на воду в річці. Після того, як заражена вода досягла Дунаю, там відзначався рівень ціаніду в 20-50 разів перевищував допустиму норму. Причини прориву дамби на хвостосховищі невідомі.

1.2. Аварії на хвостосховищах гірничо-видобувних підприємств в Україні

Україна – європейський "лідер" за обсягами відходів. Але якщо проблема побутового сміття хоч потроху вирішується, то з промисловими відходами проблеми тільки накопичуються.

Найбільша кількість відходів утворюється унаслідок економічної діяльності підприємств та організацій (біля 98%), на відходи, що утворюються у домогосподарствах, припадає менше 2% [3].

Особливістю структури утворення відходів в Україні, у зв'язку з сировинною орієнтацією економіки, є висока частка у їх складі відходів добувної промисловості (розкривних порід та продуктів збагачення корисних копалин – шламів, хвостів тощо) – понад 85 %. На інші види економічної діяльності припадає менше 15%.

Найбільша кількість відходів утворюється на підприємствах гірничо-металургійної, вугільної, хімічної промисловості та енергетики.

Погіршення стану навколишнього середовища в Україні за рахунок накопичення промислових відходів є однією з найгостріших проблем, що прямо чи опосередковано стосується кожної людини. Рівні забруднення довкілля цими відходами у значній мірі обумовлені фізико-хімічними властивостями як самих відходів, так і різними сполуками, утвореними при їх розкладанні, зокрема, токсичністю складників.[3]

За даними державної статистичної звітності станом на 01.01.2021 року у спеціально відведених місцях чи об'єктах та на території підприємств країни, які були активні протягом 2021 року, накопичилось понад 15,6 млрд. т відходів, що більше попереднього року майже на 1,0%.

За обсягами накопичення відходів серед галузей промисловості найбільш вагоме місце займають гірничо-видобувний комплекс,

металургія. Саме під розміщення відходів цих галузей відводяться найбільші площі, а експлуатаційні параметри цих об'єктів, а саме високий потенціал пилоутворення, негативно впливають на умови проживання людей в найближчих до накопичувачів відходів населених пунктах. При порушенні умов накопичення та експлуатації місць видалення відходів об'єкти їх накопичення стають потужним джерелом забруднення усіх компонентів навколишнього середовища (ґрунт, ґрунтові та поверхневі води, атмосферне повітря) небезпечними речовинами. При цьому зона наднормативного забруднення довкілля внаслідок впливу накопичувачів таких відходів може поширюватись на території поза межі встановлених 300 м санітарно-захисних зон (СЗЗ), які прийнято вважати нормативними для таких об'єктів, хоча фактично, відповідно до діючих санітарних правил 300 м СЗЗ для накопичувачів відходів є мінімально допустимо

У 2021 році техногенне навантаження в цілому на територію України становило 21,7 тис. т на 1 кв. км. Найбільшого техногенного навантаження зазнають Дніпропетровська обл. – 318,3 тис т на 1 кв. км, Донецька – 40,2 тис. т, Кіровоградська – майже 14,0 тис. т, Львівська – 10,

Станом на 2019 рік, в Україні налічується 465 хвостосховищ, що вміщують понад 6 мільярдів тон відходів різних галузей промисловості. Більшість об'єктів – старі споруди ще з часів СРСР. Багато закинутих і в дуже проблемному стані.

Наявність в Україні такої кількості старих хвостосховищ, більшість з яких побудовано з порушеннями технологій, теж призводить до аварій, нехай меншого масштабу ніж приведені вище, але і вони наносять величезну шкоду довкіллю.

Так 14 вересня 1983 року в місті Стебник на Львівщині на гірничо-хімічному підприємстві "Полімінерал" після сильного дощу прорвалася дамба хвостосховища. Потужний селевий потік сумарною масою понад 5

мільйонів тон забруднив навколишні поля, сади і ліси. Висококонцентрована ропа та тверді відходи потрапили в річку Солоницю, далі – Тисменицю, Дністер і досягли Чорного моря.

У 2001 році на Миколаївському глиноземному заводі через пошкодження хвостостовища частина відходів токсичного пилу поширилася на десятки квадратних кілометрів. А в 2008-му через аварію на калійному заводі в Калуш відходи потрапили в Дністер [4].

Нещодавно завершився проект з дослідження стану хвостосховищ в басейні річки Дністер (раніше аналогічний проект відбувся на Донбасі, на черзі – дунайський регіон). Саме басейн Дністра нині під пильною увагою через ситуацію з повенями, які можуть спровокувати аварії на спорудах. Тож група екологів провела їхню детальну інвентаризацію. Зібрана інформація – дуже невтішна.

У басейні Дністра було ідентифіковано 32 хвостосховища зі 162 мільйонами тон відходів. Ці споруди перебувають на балансі 12-ти підприємств. Три з них – з найбільшим обсягом відходів – вимагають невідкладних протиаварійних заходів. Це: ДП "Сірка" – 85 мільйонів тонн; ТОВ "ОріанаЕко" – 26; Гірничо-хімічне підприємство "Полімінерал" – 12,74.

Дослідження хвостосховищ у басейні Дністра досить показове: воно засвідчило – ці об'єкти дуже небезпечні, й очевидно, аналогічна ситуація по всій Україні. Тобто в будь-який момент десь може рвонути така "бомба сповільненої дії", що може обернутися екологічною катастрофою. Але в той же час роботи з утилізації відходів і ліквідації хвостосховищ практично ніде не ведуться.

Невтішна ситуація складається і у Кривбасі. 21 грудня о 3:20 ночі сталася часткова руйнація дамби хвостосховища «Центральне» підприємства «АрселорМіттал Кривий Ріг» (рис. 1.1). Через це технічною водою затопило частину дачних ділянок у Миролюбівці (рис. 1.2). На місці

утворилося озеро з відходів збагачення. Аварія могла статися через прорив або просідання дамби. Усього вилилося 80 000 кубометрів, що становить 4% обсягу чаші. Аварію вдалося локалізувати зі східного боку гідротехнічної споруди [5].



Рисунок 1.1 – Хвостосховище «Центральне»



Рисунок 1.2 – Підтоплення Мироліувівки відходами збагачення

Всі наведені факти свідчать про необхідність контролю і спостережень за безпечним станом хвостосховищ і шламосховищ.

Контроль за станом хвостосховищ і шламосховищ повинен включати візуальні та інструментальні спостереження.

До візуальних спостережень відносяться контроль:

- відповідності зведених гребель і дамб проекту робіт з підготовки основи і чаші хвостосховища;

- за станом укосів, берм і гребеня дамб (гребель) та їх берегових примикань: прояв негативних явищ (просідань, тріщин, переміщень, обвалів, наявність під ними вимоїн, розкриття швів, заростання і замулювання.

- за станом дренажних пристроїв: наявність підпору, замулювання, просідань, провалів ґрунту і виходів води по трасі дренажу, заболочування, руйнування лотків і колодязів, промерзання дренажу або дренажних випусків;

- за станом водоприймальних і водоскидних споруд: наявність тріщин і раковин в стінках споруд, течі в стиках стінок споруд, корозії металоконструкцій, готовність споруд до скидання паводкових вод;

- за станом доступних для огляду частин КВА: наявність кришок, погнутості оголовок, нумерації;

На сьогодні законодавство України не дозволяє повною мірою вирішувати питання хвостосховищ.

Україна зобов'язалася вдосконалити законодавство щодо утилізації промислових відходів, підписавши Угоду про асоціацію з Євросоюзом. Зокрема, наша країна має дотримуватися вимог Директиви про управління відходами видобувної промисловості.

Ця директива чітко прописує, як країни мають управляти відходами, щоб попередити або хоча б мінімізувати їхню шкоду для людини і довкілля

Фахівці з цих проблем вказують, які саме заходи, в перше чергу, має запровадити Україна, щоб адаптувати своє законодавство до вимог ЄС. Вони пропонують наступну дорожню карту [4].

Дорожня карта України щодо управління відходами:

- розробка законопроекту про управління відходами видобувної промисловості;
- плани управління відходами;
- інвестиційні фонди підприємств;
- екологічне страхування;
- розробка державної стратегії переробки накопичених відходів та закриття недіючих об'єктів;
- адаптація та затвердження методик ЄС.

2. АНАЛІЗ АВАРІЙ НА ХВОСТОСХОВИЩАХ У СВІТІ

Збором інформації та вивченням питань безпечної експлуатації хвостосховищ займаються декілька світових інтернет-порталів: Міжнародна комісія по великим греблям (ICOLD) [5], Глобальний портал хвостохранилищ [6], Tailings.info [7, WISE Uranium Project [8] тощо.

Відомості про аварії з урахуванням інших джерел представлені в [9 - 13]. Вплив конструктивних особливостей на стійкість хвостосховищ при аварійних ситуаціях було проаналізовано на основі даних про аварії, що трапилися в різних країнах світу в XX ст.

Перелік хвостосховищ, для яких були зібрані відомості з аварійних ситуацій, містить інформацію про 220 аварії, що трапилися за період 1917-2000 рр. у 29 різних країнах світу. Кожен випадок ідентифікований за трьома типами: «руйнування, прорив», «нештатна ситуація» або «порушення режиму підземних вод», фільтрація, вплив на підземні води, ерозія, просідання внаслідок ведення гірничих робіт.

Для аналізу динаміки аварійних випадків на хвостосховищах за роками з переліку було виключено 41 об'єкт, для яких не було ідентифіковано рік аварії, тому загальна кількість аварій, відібраних для аналізу, склала 179. Майже 75% усіх випадків, що аналізуються, припадають на п'ять країн світу з найбільшою кількістю аварійних ситуацій: США, Чилі, Канада, Велика Британія, Південна Африка (рис. 2.1). Це пов'язано, ймовірно, з повнішим обліком аварій у цих країнах.

Частота аварій на хвостосховищах країн світу (рис. 2.2) демонструє різке зростання з середини 1960-х років, що пов'язано з інтенсивним розвитком гірничої промисловості в той період та утворенням великої кількості таких об'єктів.

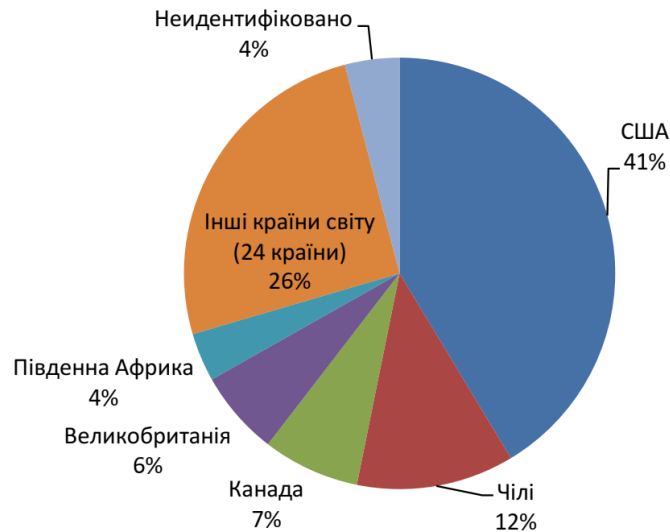


Рисунок 2.1 – Розподіл аварійних ситуацій на хвостосховищах країн світу,% [13]

Максимальна кількість аварій у XX столітті припадає на період з 1970 по 1995 р., після чого кількість різних інцидентів дещо зменшилася. Це може бути пов'язане з введенням більш строгих стандартів безпеки, згоранням гірничого видобутку в деяких країнах, зокрема, в Європі, запровадженням інших способів видобутку, що виключають накопичення відходів на поверхні (закладення виробленого простору).

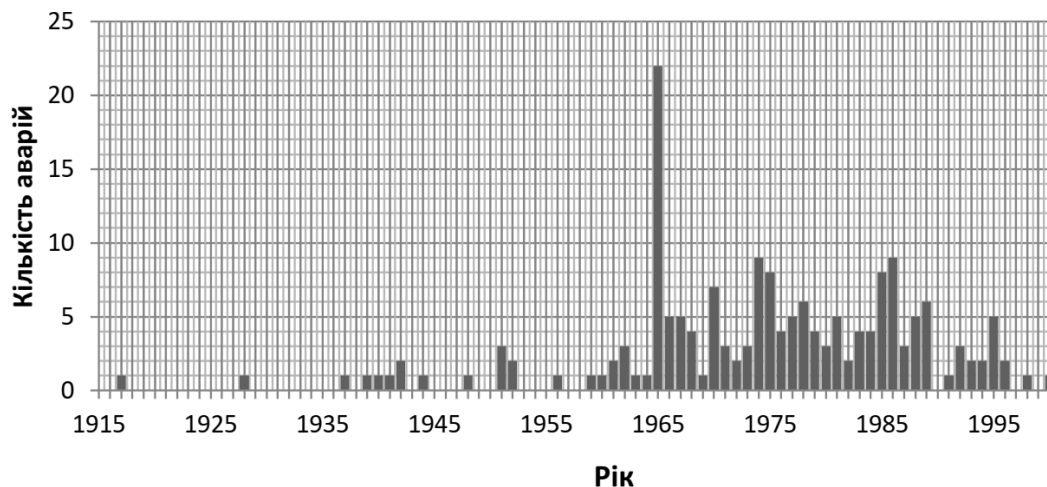


Рисунок 2.2 – Кількість аварій на хвостосховищах, що сталися за період із 1917 по 2000 роки [13]

Аналізуючи причини аварій на хвостосховищах, можна виділити в порядку зменшення їх пріоритету такі (рис. 2.3):

- порушення стійкості схилу (дамби),
- сейсмічні прояви,
- переповнення проектної ємності,
- порушення основи та структурної цілісності
- фільтрація,
- ерозія,
- просідання в результаті ведення гірничих робіт.

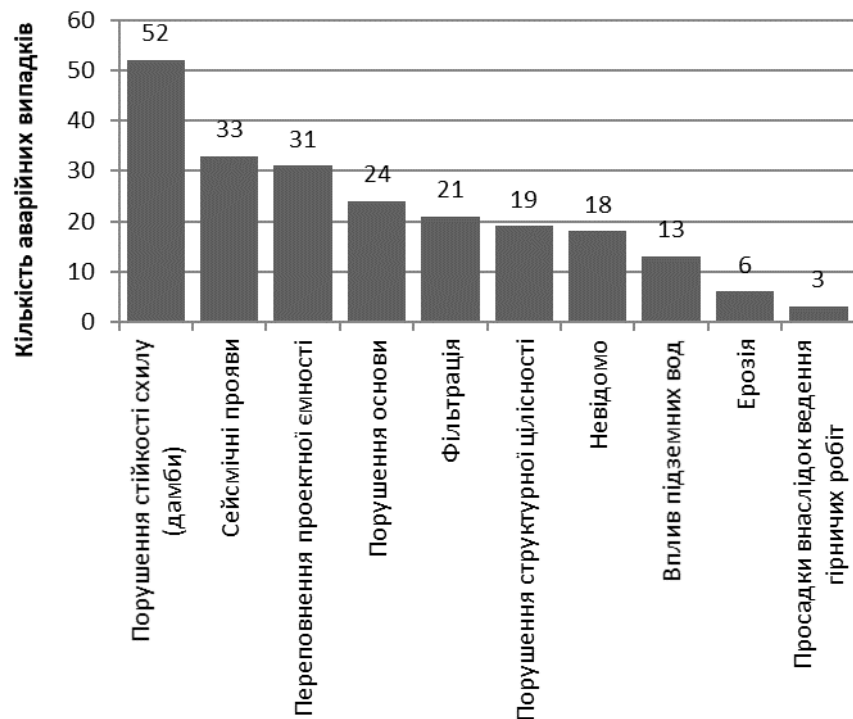


Рисунок 2.3 – Розподіл кількості аварій з їх причин [13]

Серед природних ризиків слід відзначити сейсмічну активність (18% випадків), гідрологічні та гідрогеологічні явища, з якими часто пов'язане переповнення проектної ємності, фільтрація через дамбу, вплив підземних вод та ерозія (40% усіх випадків). Крім того, порушення стійкості схилу часто також є результатом синергетичного впливу сейсмічних та

гідрологічних факторів. Отже, ці фактори повинні бути перевірені особливо ретельно в процесі екологічного аудиту хвостосховищ.

Розподіл кількості аварій за типом огорожувальних споруд (рис. 2.4) вказує на істотно підвищений ризик аварій для наливних дамб, що споруджуються вгору за течією: із загальної кількості 172 аварійних випадків з ідентифікованим типом греблі 88 або 51,2% зареєстровано для дамб саме цього типу, а всі інші випадки сталися на греблях інших типів.

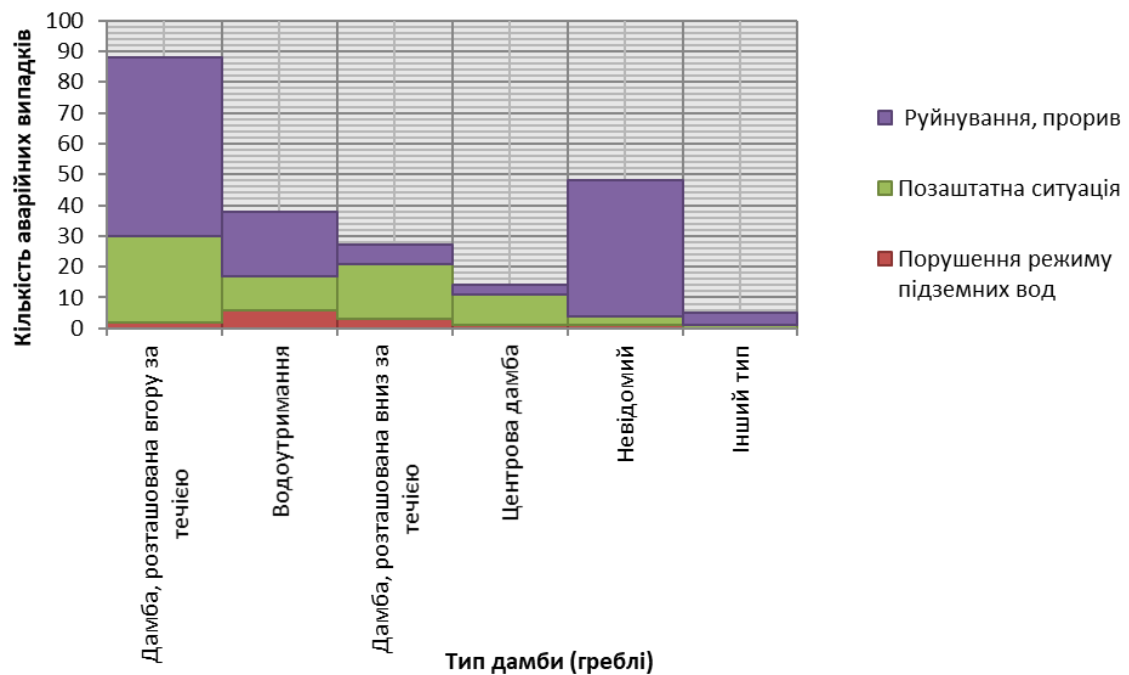


Рисунок 2.4 – Розподіл кількості аварій за типом греблі та типом аварії [13]

Найбільш небезпечними з точки зору аварійності неактивних хвостосховищ є сейсмічні прояви та переповнення проектної ємності: 25-30% усіх аварій, спричинених цими факторами, припадає на неактивні об'єкти (рис. 2.5). Для активних об'єктів (рис. 2.5) найбільш вагомим є фактор стійкості схилу дамби, який спричинив майже третину всіх аварій.

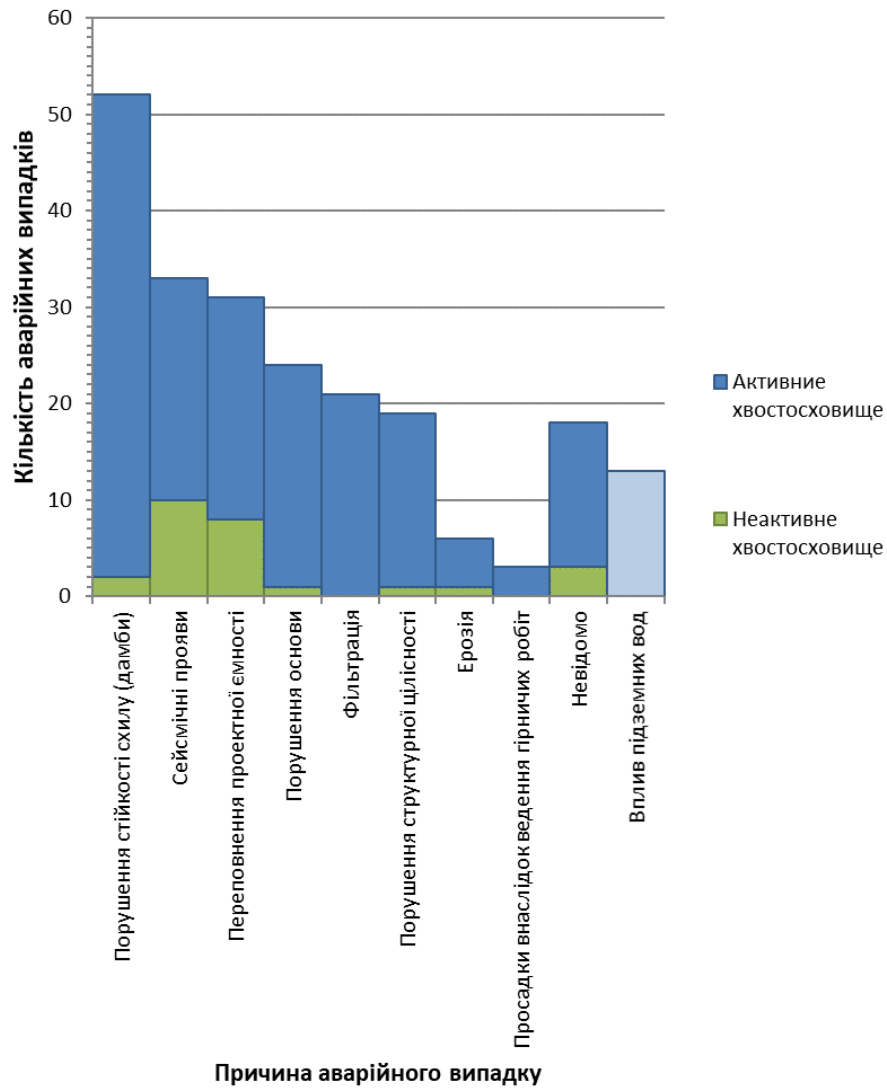


Рисунок 2.5 – Розподіл причин аварійних випадків для активних та неактивних хвостосховищ [13]

Таким чином, при оцінці рівня безпеки хвостосховищ необхідно ретельно враховувати в методиках, що розробляються, такі параметри хвостосховища, як порушення стійкості схилу дамби, сейсмічні прояви, гідрологічні та гідрогеологічні явища, структурну цілісність об'єкта тощо.

ВИСНОВКИ

Сучасна тенденція видобування та пропонування корисних копалин без суттєвої потреби на це спонукає видобувати та переробляти руди з меншим вмістом цінного компоненту, на існуючих гірничо-збагачувальних комбінатах та рудниках. При цьому технологічні схеми потребують серйозних модернізацій для підвищення продуктивності, ефективності та зменшення відходів. Ця модернізація має бути комплексною і зачіпати не тільки виробничі потужності підприємства, а й супутні об'єкти - хвостосховища і відвали гірських порід.

85% катастрофічних відмов відбувалися через активні хвостосховища. 43-50% усіх наявних хвостосховищ перебувають у хвостосховищах із «високим потенціалом небезпеки», і очікується, що цей відсоток не зміниться впродовж наступних 5 років, при цьому більше ніж 90% усіх нових відкладів припадатиме на вже наявні стандартні наземні сховища.

Для того, щоб зменшити ризики появи та розвитку небезпечних процесів необхідне створення системи моніторингу за технічним станом дамб хвостосховища. Він повинен включати як технічні засоби, так й візуальну оцінку стану дамб. Дуже багату кількість інцидентів можна було б виключити або мінімізувати наслідки при своєчасному виявленні ознак, які супроводжують небезпечні процеси на дамбах, і одна з головних ланок в системі моніторингу є розуміння тих процесів та ознак, які постерігаються працівниками оператора хвостосховища при їх повсякденній роботі.

Розробка рекомендацій щодо принципів візуальної оцінки, методики виявлення небезпечних ознак та навчання робітників на хвостосховищах є задачею наступного етапу досліджень.

Результати досліджень опубліковані в роботах [14, 15].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. STATE OF WORLD MINE TAILINGS PORTFOLIO 2020. URL: <https://worldminetailingsfailures.org/> (дата звернення: 26.12.2024).
2. Про найбільші екокатастрофи, пов'язані з аваріями на хвостосховищах промвідходів. URL: <https://ecolog-ua.com/news/pro-naybilshi-ekokatastrofy-povyazani-z-avariyamy-na-hvostoshovyshchah-promvidhodiv> (дата звернення: 26.12.2024).
3. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. 2021. 524 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення: 26.12.2024).
4. На межі екологічної катастрофи: чому Україні слід боятися промислових відходів. URL: <https://ecolog-ua.com/news/na-mezhi-ekologichnoyi-katastrofy-chomu-ukrayini-slid-boyatysya-promyslovyh-vidhodiv> (дата звернення: 26.12.2024).
5. Техногенна аварія на Арселорі: під Кривим Рогом дачі затопило отруєною водою з хвостосховища, що будується. URL: <https://svoi.kr.ua/novyny/tehnogenna-avariya-na-arselori-pid-kryvym-rogom-dachi-zatopylo-otruyenoyu-vodoyu-z-hvostoshovyshha-shho-buduyetsya/> (дата звернення: 26.12.2024).
6. Developing an Operation, Maintenance and Surveillance Manual for Tailings and Water Management Facilities. *The Mining Association of Canada*. 2013. 52 р. URL: https://mining.ca/wp-content/uploads/dlm_uploads/2021/06/DevelopinganOMSManualforTailingsandWaterManagementFacilities2011_0.pdf (дата звернення: 26.12.2024).

7. Global Tailings Portal. URL: <https://tailing.grida.no/#header> (дата звернення: 26.12.2024).

8. Tailings.info. URL: <https://tailings.info/storage/containment.htm> (дата звернення: 26.12.2024).

9. WISE Uranium Project. URL: <https://wise-uranium.org/> (дата звернення: 26.12.2024).

10. Life cycle assessment: Principles and practice. *National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development*. 2006. 80 p. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1000L86.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006%20Thru%202010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C06THRU10%5CTXT%5C00000002%5CP1000L86.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=88> (дата звернення: 26.12.2024).

11. Tailings dams risk of dangerous occurrences: Lessons learnt from practical experiences. International Commission on Large Dams Paris: CIGB: ICOLD. 2001. Bulletin No. 121. 144 p. URL: https://www.academia.edu/9168393/RISK_OF_DANGEROUS_OCCURRENCES (дата звернення: 26.12.2024).

12. Winkelmann-Oei G., Riedl O., Mádaí F., Kovacs M.A. Tailings Management Facilities (TMF) Safety Methodology. German Environment Agency. 2023. 99 p. URL:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikation/en/114_2023_texte_tailings_management_facilities_tmf_safety_methodology_0.pdf (дата звернення: 26.12.2024).

URL:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikation/en/115_2023_texte_tailings_management_facilities_tmf_safety_methodology_rus_0.pdf (дата звернення: 26.12.2024).

13. Навчальний курс “Повышение безопасности хвостохранилищ” / Рудаков Д. та ін. Дніпро, 2018. 90 с.

14. Пікареня Д.С., Орлінська О.В., Рудаков Л.М., Гапіч Г.В. Досвід застосування геофізичних методів для оцінки технічного стану огорожувальної дамби хвостосховища. *Науковий журнал Метінвест Політехніки*. 2024, №1, С. 82 - 89. <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-12>

15. Пат. кор. мод. № 156782 МПК (2024.01) G01V 3/00 Спосіб встановлення шляхів фільтраційної міграції радіонуклідів крізь порушені ділянки конструкції ґрунтових дамб обвалування хвостосховищ / Л.М. Рудаков, О.В. Орлінська, Д.С. Пікареня, Г.В. Гапіч; (Україна). – и 2023 02610(22); заявл. 29.05.2023(24), опубл. 07.08.2024, Бюл.№ 32. – 5с.:іл.