

© Л.М. Рудаков¹, Д.С. Пікареня², О.В. Орлінська², Г.В. Гапич¹

¹ Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

² Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя, Україна

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТОВОЇ ДАМБИ ХВОСТОСХОВИЩА ВІЛЬНОГІРСЬКОГО ҐМК ГЕОФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ ТА ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© L. Rudakov¹, D. Pikarenia², O. Orlinska², H. Napich¹

¹ Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

² Technical University 'Metinvest Polytechnic', Zaporizhzhya, Ukraine

DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE TAILING DAM OF THE VILNOGIRSKY ORE MINING AND METALLURGICAL PLANT BY GEOPHYSICAL METHODS AND MEASURES TO INCREASE THE LEVEL OF ENVIRONMENTALLY SAFE OPERATION

Мета. Обґрунтування можливості та доцільності застосування геофізичного методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) для діагностики технічного стану ґрунтової дамби Вільногірського гірничо-металургійного комбінату (ВГМК) та розробка заходів щодо підвищення рівня екологічної безпеки подальшої експлуатації хвостосховища.

Методика. Застосовані сучасні стандартизовані методи досліджень, які включають польові вимірювання та аналітичну інтерпретацію геофізичних даних. У роботі використані результати спостережень за закладною контрольно-вимірювальною апаратурою (п'єзометри, геодезичні марки), яка розміщена в тілі гідротехнічної споруди (ГТС).

Результати. Візуальні обстеження та дані контрольно-вимірювальної апаратури мають значущу кореляцію з результатами досліджень технічного стану ГТС геофізичним методом ПЕМПЗ. На підставі результуючих даних розроблені різні варіанти технічних рішень і заходів з підвищення рівня надійності та безпеки експлуатації ГТС.

Наукова новизна. Вперше для ґрунтової дамби хвостосховища ВГМК обґрунтовано можливість застосування методу ПЕМПЗ по визначенню ділянок підвищеної фільтрації, зон розущільнення та потенційних формувань тріщин відриву і зсувних площин в тілі ГТС, які не мають проявів зовнішніх ознак порушення технічного стану. Удосконалення методики контролю та інструментальних досліджень за надійною і безпечною роботою хвостосховища дозволяє також розробити науково обґрунтовані заходи з підвищення рівня екологічної та експлуатаційної безпеки огорожувальних дамб.

Практична значимість. Застосування та впровадження геофізичного методу ПЕМПЗ у систему діагностичних моніторингових спостережень за технічним станом ГТС хвостосховища значно підвищує достовірність та інформативність отриманих даних про напружено-деформаційний стан дамби, надає змогу відслідковувати зміни та встановлювати ділянки підвищеної фільтрації і обводнення. Такий підхід дозволяє прогнозувати стан споруди на різних рівнях експлуатації, а також розробляти як оперативні, так і довготермінові заходи з підвищення рівня екологічної і технічної безпеки, особливо в умовах постійного нарощування висоти захисних дамб та збільшення корисних ємностей хвостосховищ.

Ключові слова: хвостосховище, ґрунтова дамба, геофізичні методи, екологічна безпека.

Вступ. Внаслідок роботи гірничодобувних та металургійних підприємств на території Дніпропетровської області накопичено більше 1,2 млрд. м³ хвостів збагачення. Техногенне навантаження на різні компоненти довкілля утворюють гігантські хвостосховища і шламонакопичувачі міст Кривого Рогу, Кам'янського, Вільногірська, Жовтих Вод та Західного Донбасу [1]. Постійне нарощування обсягів існуючих хвосто- та шламонакопичувачів потребує збільшення висоти огорожувальних дамб. Разом з тим, фактор тривалого часу роботи у сукупності із застарілими вимогами до норм безпеки та надійності роботи таких споруд несуть потенційну загрозу виникнення техногенних аварій через чинники кліматичного і техногенного характеру [2]. Руйнування конструкцій огорожувальних (захисних) гідротехнічних споруд (ГТС) [3] та аварії відбуваються з інтенсивнішою частотою після значного терміну експлуатації, який, як правило, у більшості випадків становить понад 50-70 років. Не зважаючи на існуючу систему моніторингу та спостережень за технічним станом ГТС накопичувачів відходів, є надзвичайно актуальним питанням удосконалення підходів до оцінювання та розробка дієвих способів і засобів контролю щодо попередження аварійних ситуацій. Своєчасність та достовірність отриманих результатів діагностичного контролю за станом споруд дозволяє запроваджувати ефективні рішення технічного забезпечення надійності та екологічно безпечної роботи таких споруд у майбутньому [4].

Цілі та завдання досліджень. Обґрунтування можливості та доцільності застосування геофізичного методу ПЕМПЗ для діагностики технічного стану ґрунтових гідротехнічних споруд з метою виявлення ділянок порушеного стану в тілі ГТС, зон розущільнення, обводнення, фільтраційних деформацій тощо, які не мають зовнішніх ознак прояву. Для досягнення поставленої мети, на прикладі дамби Вільногірського ГМК, у дослідженні виконані польові візуальні обстеження, аналіз даних закладної контрольно-вимірювальної апаратури та спостереження із застосуванням геофізичного методу ПЕМПЗ. Розроблені та обґрунтовані технічні заходи щодо підвищення рівня екологічної та експлуатаційної безпеки подальшої роботи хвостосховища.

Матеріали і методи досліджень.

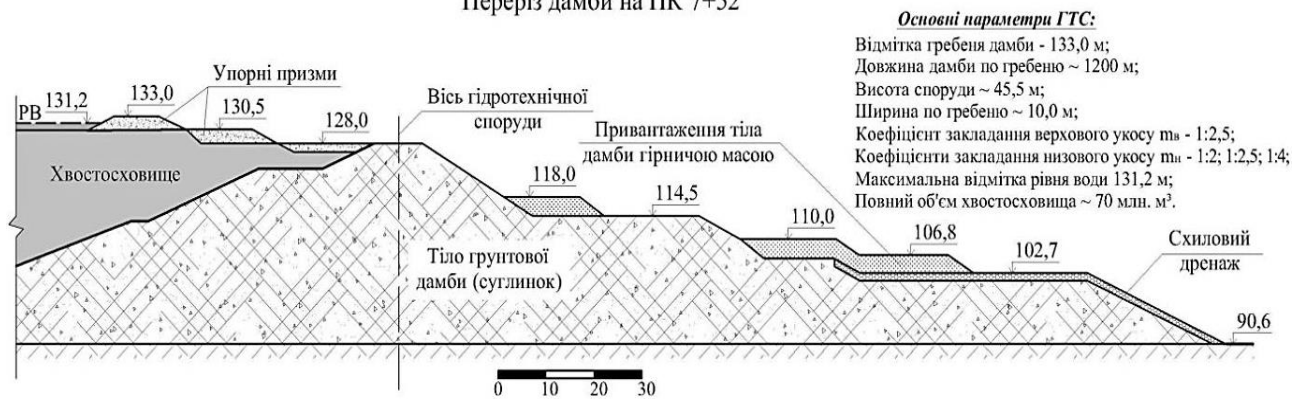
Характеристика об'єкту досліджень. Ґрунтова дамба хвостосховища у балці Скажена Вільногірського ГМК (рис. 1) утримує близько 55 млн.м³ відходів збагачення ільменіт-рутил-цирконових пісків. В тілі гідротехнічної споруди розташована закладна контрольно-вимірювальна апаратура, що дозволяє вести постійний моніторинг експлуатаційним штатом працівників за рівнями депресійної кривої, виконувати маркшейдерський нагляд за деформаційними процесами та контролювати технічний стан, надійність і безпеку експлуатації.

За даними [5] хвостосховище ВГМК в б. Скажена побудовано і введено в експлуатацію у 1987 р. Тип хвостосховища – наливне. Тип греблі – глуха ґрунтова, насипна із суглинку, яка має клас наслідків (відповідальності) відповідно до [3, 6] – СС3.

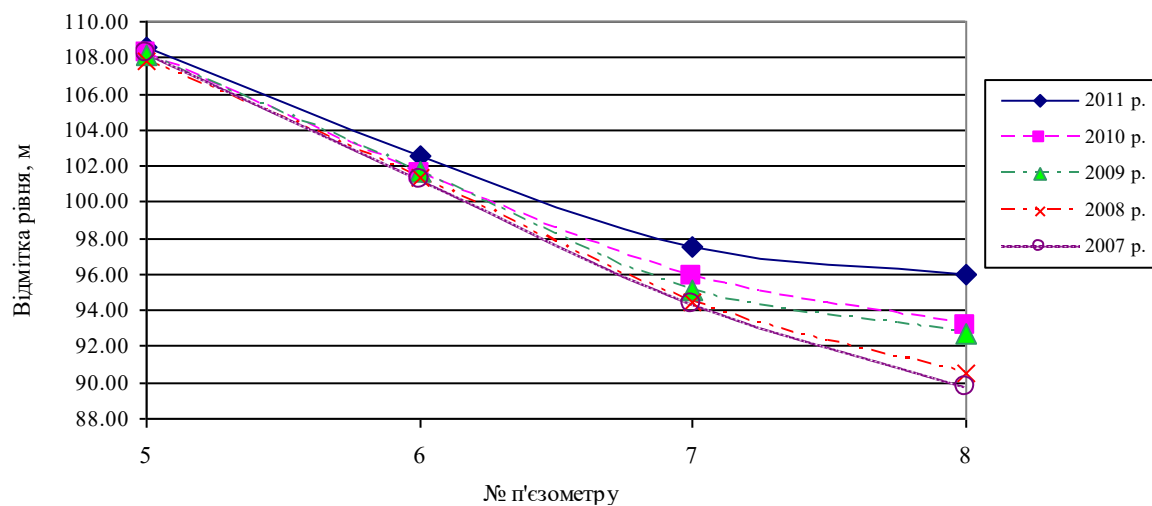


а)

Переріз дамби на ПК 7+52



б)



в)

Рис.1. Оглядова карта розташування об'єкту досліджень (а) за даними сервісу Google Earth Pro, конструктивні параметри ґрунтової дамби хвостосховища (б) та рівні фільтраційних вод в тілі ГТС (центральный створ) у різні роки спостережень (в)

Низовий укіс закріплений посівом багаторічних трав з улаштуванням схилового дренажу. Верховий укіс закріплений кам'яним накидом товщиною $h = 0,6$ м. На гребені греблі прокладені дві нитки напірних пульпопроводів діаметром 600 мм з випусками в сторону хвостосховища. У трьох створах контрольно-вимірювальної апаратури облаштовано 12 п'єзометрів для визначення рівнів депресійної кривої.

За результатами геодезичних спостережень відділом маркшейдерії ВГМК значних деформацій тіла греблі не виявлено. Тимчасові промоїни на укусах греблі, що утворюються дощовими і талими водами, ремонтують шляхом заповнення гірничою масою або суглинком з ущільненням.

Цікавість представляють спостереження за депресійними кривими в тілі споруди за період з 2007–2011 рр. За даними спостережень по п'єзометрах побудовані депресійні криві по місяцям. Найбільш інформативними є криві, отримані з п'єзометрів, розташованих у створі II–II (центральный створ), де відбувається достатньо інтенсивний процес фільтрації води (див. рис. 1в).

Аналізуючи дані розподілу рівня фільтрації води в тілі ГТС за місяцями і роками спостережень, відмічається тенденція до підвищення. В деякі місяці рівень коливається від 90 м до 96 м. Максимальна різниця сягає 6 м, що пов'язано з нарощуванням гребеня греблі і підвищенням рівня води у верхньому б'єфі. За рахунок збільшення градієнтів напору під час фільтрації відбувається водонасичення ґрунтів тіла ГТС у нижньому б'єфі. Відмічається тенденція підвищення рівня фільтраційного потоку в тілі ГТС, а значне обводнення та зміна форми ліній гідроізогіпс свідчать про потенційну небезпеку експлуатації ГТС.

Тому, під час експлуатації постала необхідність забезпечити стійкість низового укусу шляхом привантаження греблі гірничою масою. Збільшення ваги споруди та зміна контуру укусу проводяться з метою протидії зсувним силам і підвищення фільтраційної стійкості ґрунтів гідротехнічної споруди.

Теоретичні основи застосування геофізичного методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі. Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (далі – ПЕМПЗ) відноситься до групи електророзвідувальних геофізичних методів [7]. Його застосування рекомендовано нормативними геологорозвідувальними документами [8]. ПЕМПЗ, що генерується саме внутрішніми джерелами, використовується з метою вивчення геологічних особливостей територій [9–11].

В основу інтерпретації результатів покладена залежність варіації щільності потоку електромагнітних імпульсів (кількості імпульсів за одиницю часу) під час змінення навантажень, які діють на гірські породи або штучні матеріали. Таким чином, електромагнітне випромінювання має здатність поширюватися в твердих породах на значну відстань від джерела, при цьому його амплітуда і енергія змінюється досить слабо. Якщо ж на шляху поширення електромагнітного випромінювання зустрічається ділянки обводнення і замочування порід або зони утворення тріщини, то інтенсивність випромінювання різко зменшується, а при потужній зоні воно взагалі розсіюється або поглинається. Завдяки цій особливості можна виділяти ділянки, які мають різну щільність потоку електромагнітних

імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ, тобто кількості імпульсів за одиницю часу. Теж саме буде проявлятися у тріщинуватих породах, до яких можна віднести насипні техногенні ґрунти огорожувальних дамб. Дослідження ПЕМПЗ виконувались із застосуванням приладу «СІМЕЇЗ» [12]. Апробація даної методики досліджень широко представлена у результатах багатьох дослідно-методичних робіт, проведених на ґрунтових греблях річок, регулюючих басейнах та хвостосховищах [13–16].

Дослідження технічного стану ГТС у балці Скажена Вільногірського ГМК проводились у два етапи. Спочатку проведено візуальний огляд, а потім інструментальні дослідження методом ПЕМПЗ. При візуальному обстеженні встановлено розвиток локальних зсувів на низовому укосі греблі, процеси лінійного змиву і водонасичення тіла ГТС, про що свідчить значний розвиток рослинності. Найбільш активно ці явища і процеси проявлені на верхніх уступах (бермах), у зв'язку з цим інструментальні дослідження були зосереджені на бермах з абсолютними відмітками 133,0 м, 130,0 м і 127,0 м. На гребені і бермах через 5 м були розбиті профілі, а на них через 3 м точки спостережень. Кількість профілів залежала від ширини гребня і берм, тому складала відповідно: на відмітці 133 м – 2 профіля; на відмітці 130 м – 3 профіля; на відмітці 127 м – 4 профіля. Прив'язка профілей на місцевості виконана за допомогою GPS. Вимірювання кількості імпульсів ПЕМПЗ в точці спостережень проведено за трьома антенами. Одна з них орієнтована вздовж греблі, друга – впоперек, а третя – вертикально вниз. Загальна кількість точок спостережень складає – 2005 шт.

Результати досліджень. На основі отриманих даних польових досліджень побудовані карти-схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ у програмному комплексі з відкритим доступом *Golden Software Surfer 8*, а також результуюча схема з винесеними зонами розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів (рис. 2). Інтерпретація отриманих результатів показує, що щільність потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ в цілому для споруди невисока, на рівні низьких і середніх значень. Це може свідчити про значне водонасичення тіла ГТС. Разом з тим, виділяються зони з підвищеними значеннями щільності потоку імпульсів (по осі абсцис): 80180-80250; 80360-80420; 80510-80550 м. Інтерпретувати дану ситуацію можливо наступним чином: в даному місці виникають локальні деформації тіла дамби, які з урахуванням загальної обстановки, викликані розтягувальними напруженнями і є ознаками формування зсуву. Напруги, що виникли, сприяють формуванню зони відриву з послідуєчим сповзанням. Розділені небезпечні ділянки зсувів аномаліями з низькими значеннями щільності потоку імпульсів, що свідчить про формування зон підвищеної фільтрації води в тілі ГТС.

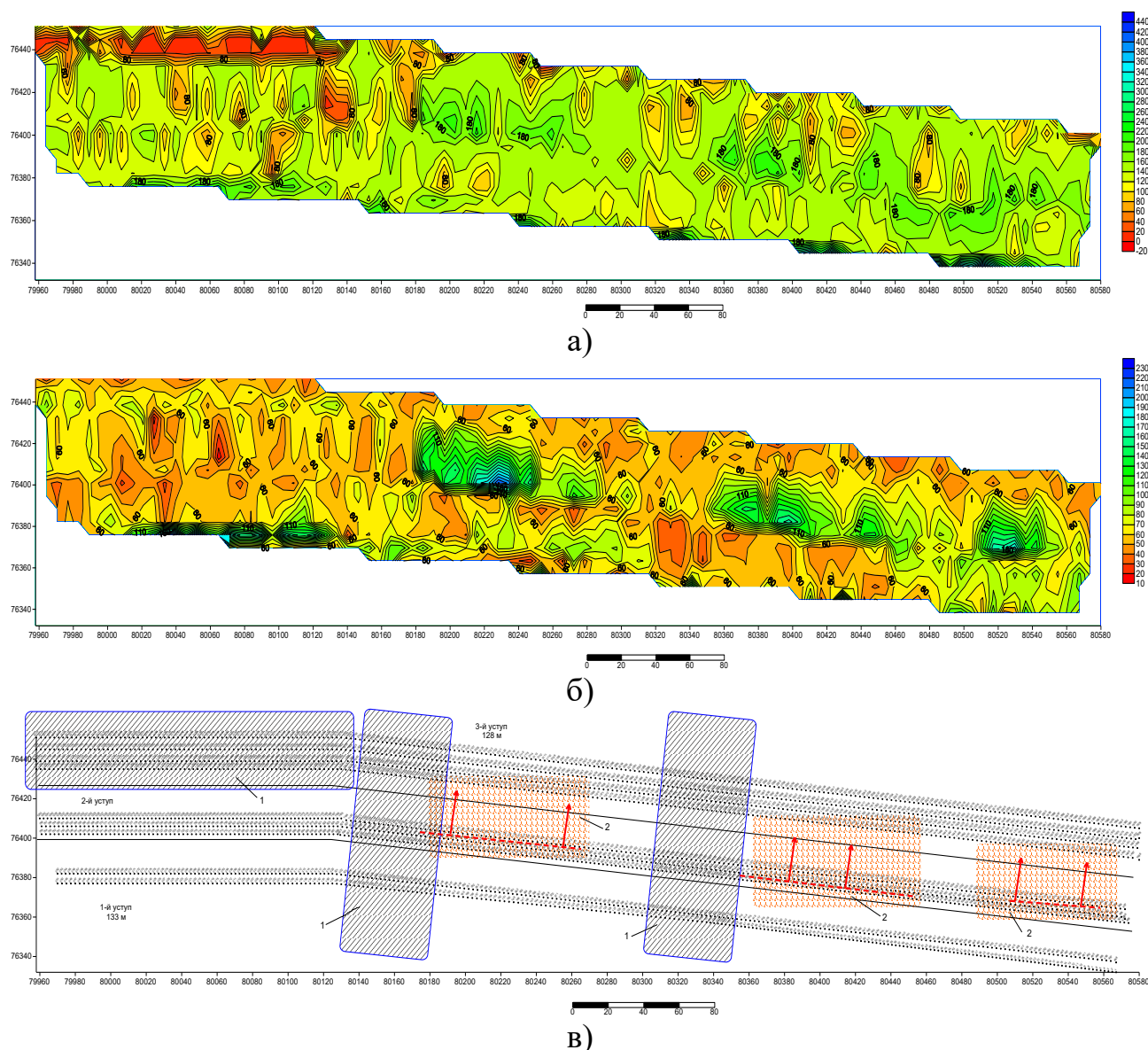


Рис. 2. Карта-схема щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ на дамбі Вільногірського ГМК за антенами, орієнтованими поперек (а) та вздовж греблі (б) з результуючою схемою інтерпретації геофізичних досліджень

Примітка: підписи по осям абсцис і ординат – відстані в метрах; кольорова шкала характеризує кількість імпульсів ПЕМПЗ в умовних одиницях; синя лінійна штриховка (1) – зони обводнення і підвищеної фільтрації в тілі ГТС; червона штриховка (2) – тіла формування зсувів; червоні стрілки – імовірні площини відриву зсувів і напрямок сповзання.

Отримані дані візуального обстеження, зміни рівня кривої депресії на основі КВА і результати досліджень методом ПЕМПЗ, свідчать про незадовільний технічний стан ГТС та небезпеку її експлуатації. Виходячи з цього проведена оцінка ризику виникнення аварії. Поняття «небезпека» і «ризик» відносяться до можливих впливів на об'єкт і його реакцію на ці впливи – «вразливість». Спочатку проведена інтегральна оцінка небезпеки аварії на ГТС, яка визначається наступними показниками (рис. 3).

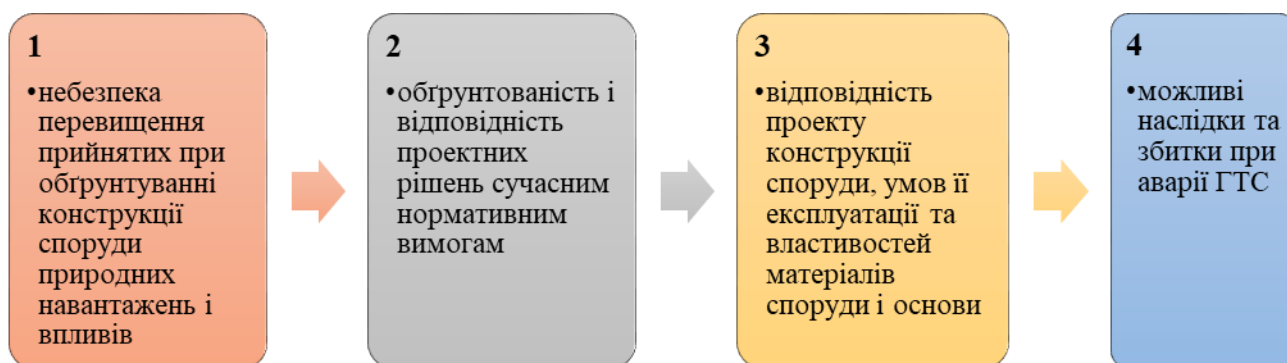


Рис. 3. Схема інтегральної оцінки небезпеки аварії на дамбі хвостосховища

Ступінь небезпеки по кожному з показників встановлюється окремо. На підставі отриманих даних значення коефіцієнту небезпеки $\lambda = 0,647$.

Наступним кроком проведено визначення інтегральної оцінки вразливості гідротехнічної споруди. За отриманими даними значення коефіцієнту вразливості становить $\nu_y = 0,333$.

Інтегральна оцінка ризику аварії на ГТС проведена на основі ступеня небезпеки і рівня вразливості, і оцінена за принципом перетину цих подій, що кількісно виражається коефіцієнтом ризику аварії R_a :

$$R_a = 0,647 \cdot 0,333 = 0,215 \quad (1)$$

За результатами розрахунку встановлено, що ступінь ризику аварії помірний, а рівень безпеки ГТС відноситься до пониженого. Існують відхилення від правил безпечної експлуатації, своєчасно не усунені порушення в ході планових заходів по забезпеченню нормального рівня безпеки, однак вони не перешкоджають можливості виконання спорудою заданих експлуатаційних функцій.

Отже, отримані узагальнені результати польових досліджень, даних КВА та розрахункові показники оцінки ризику обґрунтовують необхідність розробки технічних рішень задля підвищення рівня надійності та екологічно безпечної експлуатації дамби Вільногірського ГМК.

Додатково відмітимо також загальну проблему всіх накопичувачів промислових відходів. Хвостовища гірничодобувних підприємств несуть значну екологічну загрозу прилеглим територіям, а через обмеженість земельних ресурсів і значні фінансові витрати на будівництво нових технологічних і екологічно безпечних сховищ відходів збагачення і виробництва, підприємства змушені використовувати і нарощувати огорожувальні дамби за рахунок існуючих. Збільшити корисний об'єм хвостосховищ, перш за все, можливо за рахунок підйому рівня гребеня дамб, що утримують хвости та шлами. Разом з тим, зміна конструктивних параметрів має ряд технічних і економічних проблем. По-перше – організація і технологія проведення робіт потребує застосування сучасних методів і способів виробництва робіт; по-друге – збільшення розмірів ГТС і накопичених об'ємів відходів підвищує небезпеку їх впливу на оточуюче навколишнє середовище та ризик і масштаби можливих аварій; по-третє – об'єми будівельно-монтажних робіт потребують значних фінансових ресурсів.

Слід зауважити, що найгострішим питанням при реконструкції є забезпечення стійкості і фільтраційної міцності ґрунтів тіла ГТС. При збільшенні висоти відбувається

підйом рівня води у верхньому б'єфі (ВБ). За рахунок різниці рівнів води (хвостів) у б'єфах збільшуються фільтраційні витрати і градієнти напору. Це призводить до підйому рівня кривої депресії в тілі споруди та підвищення порового тиску, водонасичення ґрунтів, і, в подальшому, до їх консолідації. Під дією цих факторів в тілі ГТС можлива поява пливунів та зростає небезпека сповзання (обрушення) низових укосів.

Дослідженнями встановлено, що початкові прояви таких процесів не виключені на дамбі в б. Скажена ВГМК. Максимальне підвищення рівня кривої депресії, побудованої за даними кінцевих п'єзометрів у створах спостережень, в деякі місяці сягає до 6 м, що обумовлює необхідність виположування низового укосу шляхом відсипки ґрунтом. Привантаження укосу гірничою масою є також необхідною мірою, що збільшить власну вагу ГТС для протистояння виштовхуючим і зсувним силам збоку підвалини та верхнього б'єфу.

З метою недопущення проявів небезпечних інженерно-геологічних процесів, а також у випадку реконструкції і потенційного нарощування гребеня греблі, проведені порівняння двох техніко-економічних варіантів виробництва робіт.

Вартість і об'єми робіт при відсипці ґрунтом та привантаженні низового укосу гірничою масою, визначені з урахуванням конструктивних параметрів греблі. Спочатку визначається довжина низового укосу з урахуванням коефіцієнтів їх закладання і ширини берми на характерних висотних відмітках. Товщина шару відсипки мінеральним ґрунтом ($\rho = 1,7 \text{ т/м}^3$) приймається рівною 0,3 м. Привантаження гірничою масою товщиною від 0,5 м до 1,5 м виконується на бермах. Таким чином, об'єм мінерального ґрунту відсипки сягає близько 67 тис. м^3 , а обсяг гірничої маси для привантаження 128 тис. м^3 . Наближена вартість реалізації запропонованих заходів розрахована за допомогою програмного комплексу АВК-5. За даними кошторису вартість робіт сягає понад 30 млн. грн.

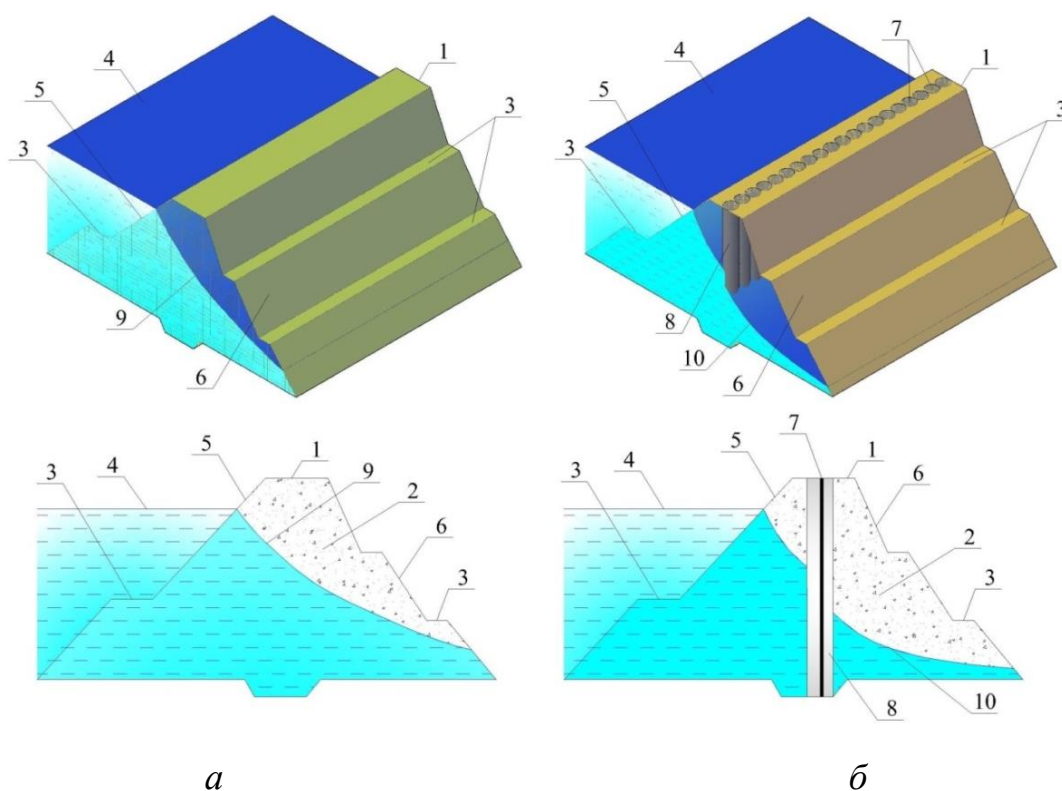
Другим варіантом ремонтно-відновлювальних робіт на ГТС є створення протифільтраційної завіси в тілі споруди методом ін'єктування глиноцементних розчинів. Створення ін'єкційної завіси передбачається шляхом поетапного буріння свердловин з наступним нагнітанням глиноцементного або іншого виду розчину. Необхідно відмітити, що процес ін'єктування у штучно створеному об'єкті, який не має обмежуючих зовнішніх сил протидії, під час нагнітання є дуже складним і відповідальним, оскільки гребля знаходиться під тиском води і наносів зі сторони верхнього б'єфу і, навпаки, нічим не обмежена зі сторони нижнього. У випадку недотримання технологічних параметрів ін'єктування з урахуванням конструктивних особливостей споруди, існує небезпека її руйнування або розкриття тріщин за рахунок збільшення витрат або тиску рідини при нагнітанні. Дані особливості потребують детального вивчення технічного стану ГТС та інженерно-геологічних вишукувань під час розробки проекту з улаштування протифільтраційної завіси методом ін'єктування.

Вибір розмірів протифільтраційної завіси залежить від умов роботи та необхідності зменшення фільтраційної витрати води у центральній частині ГТС. Доцільним є проведення ін'єктування на ділянці між ПК4-ПК10, оскільки центральна частина споруди є найбільш вразливою зоною за рахунок навантаження зі сторони ВБ і зосередженого фільтраційного потоку. Глибину свердловини встановлено залежно від рельєфу місцевості і різниці між відмітками гребеня греблі та її основи на заданому проміжку.

Розрахунок (табл.) проведений за схемою (рис. 4) та виконується згідно рекомендацій [17] за наступними рівняннями.

Таблиця
Розрахунок об'ємів глиноцементного розчину при створенні протифільтраційної завіси методом ін'єктування на греблі хвостосховища ВГМК

Пікети	Відстань між ділянками нагнітання	Середня глибина до основи h , м	Відстань між свердловинами R , м	Кількість свердловин n , шт.	Загальна довжина свердловин L , м	Площа перерізу свердловини при діаметрі долота 118 мм S , m^2	Об'єм ін'єкційного розчину для свердловини $V_{св}$, m^3	Об'єм ін'єкційного розчину завіси ($R=2,2$ м; $K_{пор}=0,12$)	Загальний об'єм розчину V_p , m^3
ПК4-ПК5	100.0	30.0	2.2	45	1364	0.011	15.0	621.7	636.7
ПК5-ПК6	100.0	35.0	2.2	45	1591	0.011	17.4	725.3	742.8
ПК6-ПК7	100.0	40.0	2.2	45	1818	0.011	19.9	829.0	848.9
ПК7-ПК8	100.0	40.0	2.2	45	1818	0.011	19.9	829.0	848.9
ПК8-ПК9	100.0	38.0	2.2	45	1727	0.011	18.9	787.5	806.5
ПК9-ПК10	100.0	35.0	2.2	45	1591	0.011	17.4	725.3	742.8
Всього				273	9909	—	108.7	4517.8	4626.5



Умовні позначення: 1 – гребінь ґрунтової греблі; 2 – тіло ГТС; 3 – берма; 4 – рівень води у верхньому б'єфі; 5 – верховий укіс; 6 – низовий укіс; 7 – ін'єкційна свердловина; 8 – зона ущільнення; 9 – крива депресії в тілі ГТС; 10 – пониження рівня кривої депресії

Рис. 4. Схема до розрахунку об'ємів робіт при створенні протифільтраційної завіси: а – до проведення реконструкції; б – після проведення реконструкції

Відстань між свердловинами залежить від діаметру розповсюдження розчину з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$R = 1/\xi \cdot D_0, \text{ м} \quad (2)$$

де ξ – коефіцієнт запасу = 1,3; D_0 – діаметр розповсюдження розчину, 3 м.

Кількість свердловин на кожній ділянці дорівнює:

$$N = L/R, \text{ шт.}, \quad (3)$$

де L – довжина окремої ділянки, м; R – відстань між свердловинами, м.

Площа перерізу свердловини при бурінні долотом діаметром 118 мм:

$$S = \pi \cdot r^2, \text{ м.} \quad (4)$$

Об'єм ін'єкційного розчину, що нагнітається в одну свердловину, встановлюється в залежності від радіусу розповсюдження, об'єму пор і пустот, які необхідно заповнити, а також об'єму свердловини:

$$V_p = V_{св.} + V_n, \text{ м}^3, \quad (5)$$

де $V_{св.}$ – об'єм інтервалу свердловини, м^3 ; V_n – об'єм пор і пустот, м^3 .

Об'єм пор у суглинках тіла споруди приймаємо рівним 12 % від загального:

$$V_n = 0,12 \cdot S \cdot L, \text{ м}^3, \quad (6)$$

де S – площа розповсюдження розчину, м^2 ; L – глибина свердловини, м.

Розрахунки показують, що при заданих параметрах загальна кількість свердловин складає 273 шт., а об'єм ін'єкційного розчину 4,6 тис. м^3 . Визначена кошторисна вартість улаштування протифільтраційної завіси сягає близько 22 млн грн.

В результаті порівняння двох інженерно-технологічних рішень відносно реконструкції встановлено, що будівництво протифільтраційної завіси є більш доцільним з точки зору економічної ефективності.

Ін'єктування розчину створить ядро в тілі ГТС, міцнісні і фільтраційні характеристики якого вищі за ґрунти тіла споруди. За рахунок зменшення фільтраційних втрат відбудеться пониження рівня кривої депресії. Даний факт позитивно вплине на фільтраційну міцність ґрунтів тіла споруди і підвищить стійкість низового укусу. Знизиться небезпека утворення зсувних зон і ділянок різнонапруженого стану за рахунок зменшення порового тиску. Технологія ін'єктування потребує значно менших витрат матеріалів і засобів виробництва. Використання сучасних матеріалів і організаційно-технічних рішень при застосуванні передових технологій характеризують даний спосіб більш технологічно якісним і доцільним у застосуванні, ніж відсипка ґрунтом і гірничою масою.

Висновки. Застосування та впровадження геофізичного методу ПЕМПЗ у систему діагностичних моніторингових спостережень за технічним станом ГТС хвостосховища значно підвищує достовірність та інформативність отриманих даних про напружено-деформаційний стан дамби, дозволяє відслідковувати зміни та встановлювати ділянки підвищеної фільтрації і обводнення. Такий підхід дозволяє розробляти як оперативні, так і довготермінові заходи з підвищення рівня

екологічної і технічної безпеки, особливо в умовах постійного нарощування висоти захисної дамби та збільшення корисної ємності хвостосховищ.

Перелік посилань

1. Ніколаєва, І.О. (2017). *Екологічний аудит промислових хвостосховищ із застосуванням контрольних списків як передумова підвищення їх екологічної безпеки*. дис. ... на здобуття канд. техн.: 21.06.01. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.
2. Рудаков, Л. (2023). Екологічна та експлуатаційна безпека хвостосховищ: аналіз аварій, причин та методів діагностики технічного стану. *Екологічна безпека та природокористування*, 46(2), 66–84. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.66-84>
3. Хвостосховища і шламонакопичувачі: ДБН В.2.4.-5:2012. К.: Мінрегіонбуд України, 2012.
4. Williams, DJ (2021). Lessons from tailings dam failures – where to go from here? *Minerals*, 11(8), 853. <https://doi.org/10.3390/min11080853>
5. *Хвостосховище в б. Скажена. Нарощування основної дамби до відмітки 133,00 м. Реконструкція. Робочий проект*. (2004). Державний науково-дослідний та проектно-вишукувальний інститут «УкрНДІводоканалпроект».
6. *Гідротехнічні споруди. Основні положення: ДБН В.2.4-3:2010*. (2008). Мінрегіонбуд України. (Державний стандарт України).
7. Kuzmenko, E., Bagriy, S., Artym, V., Artym, I., Dzoba, U., & Kamaeva, I. (2021). Distribution of mechanical stress and its relationship to the natural pulsing electromagnetic field in complex rock masses. *15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215k2079>
8. *Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1-1:2014*. (2014). Мінрегіонбуд України, 2014.
9. Kuzmenko, E., Bahrii, S., & Dzoba, U. (2019). The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (or ENPEMF). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27(3), 466–477. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111870>
10. Chushkina, I. V., Pikarenia, D. S., Orlinska, O. V., & Maksymova, N. M. (2020). Experimental substantiation of the NPEMFE geophysical method to solve engineering and geological problems. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (51), 109–123. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-08>
11. Hao, G.-C., Bai, Y.-X., Liu, H., Zhao, J., & Zeng, Z.-X. (2018). The Earth's natural pulse electromagnetic fields for earthquake time-frequency characteristics: Insights from the EEMD-WVD method. *Island Arc*, 27(4). <https://doi.org/10.1111/iar.12256>
12. Пікареня, Д.С., & Орлінська, О.В. (2009). *Досвід застосування методу природнього імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ) для вирішення інженерно-геологічних задач*. Видавництво «СВІДЛЕР».
13. Пікареня, Д.С., Орлінська, О.В., Зберовський, А.В., & Лазніков, А.М. (2012). Дослідження міцнісних та фільтраційних властивостей гідротехнічної споруди у балці Скажена Вільногірського ГМК. *Збірник наукових праць НГУ*, 37, 310–315.
14. Rudakov, L.M., Hapich, H.V., Orlinska, O.V., Pikarenia, D.S., Kovalenko, V.V., Chushkina, I.V., & Zaporozhchenko, V. Y. (2020). Problems of technical exploitation and ecological safety of hydrotechnical facilities of Irrigation Systems. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(4), 776–788. <https://doi.org/10.15421/112070>
15. Hapich, H., Orlinska, O., Pikarenia, D., Chushkina, I., Pavlychenko, A., & Roubík, H. (2023). Prospective methods for determining water losses from irrigation systems to ensure food and water security of Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 154–160. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/154>
16. Orlinska, O., Pikarenia, D., Chushkina, I., Maksymova, N., Hapich, H., Rudakov, L., Roubík, H., & Rudakov, D. (2022). Features of water seepage from the retention basins of irrigation systems

with different geological structures. *Industrial, Mechanical And Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1063/5.0109330>

17. Дудля, М.А., & Садовенко, І.О. (2007). *Техніка та технологія буріння гідрогеологічних свердловин: Підручник* (За ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка) Національний гірничий університет.

ABSTRACT

Purpose. To substantiate the possibility and feasibility of using the geophysical method of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NPEMFE) to diagnose the technical condition of the soil dam of the Vilnohirs'k Mining and Metallurgical Plant and to develop measures to improve the level of environmental safety of the tailings dump's further operation.

The methods. Modern standardised research methods were used, including field measurements and analytical interpretation of geophysical data. The paper uses the data from the results of observations of the embedded control and measuring equipment (piezometers, geodetic marks) located in the body of the hydraulic structure.

Findings. Visual inspections and data from control and measuring equipment have a significant correlation with the results of studies of the technical condition of the soil dam using the geophysical method of NPEMFE. Based on the resulting data, various options for technical solutions and measures to improve the reliability and safety of the soil dam operation have been developed.

The originality. Scientific and practical substantiation of the possibility of applying the NPEMFE method to identify areas of increased filtration, zones of compaction and potential formation of detachment cracks and shear planes in the body of the tailings dam, which do not show external signs of technical condition. Improvement of the methodology for monitoring and instrumental studies of the reliable and safe operation of the tailing dump allows developing reasonable measures to improve the level of environmental and operational safety of the enclosing dams.

Practical implementation. The application and implementation of the NPEMFE geophysical method in the system of diagnostic monitoring observations of the technical condition of the soil dam significantly increases the reliability and informativeness of the data obtained on the stress-strain state of the dam, makes it possible to track changes and identify areas of increased filtration and watering. This approach makes it possible to predict the state of the structure at different levels of operation, as well as to develop both operational and long-term measures to improve environmental and technical safety, especially in the context of a constant increase in the height of protective dams and an increase in the useful capacity of tailings ponds.

Keywords: *tailing dump, soil dam, geophysical methods, environmental safety.*