

## **ВІДГУК**

офіційного опонента доктора технічних наук, професора  
**Волошкіної Олени Семенівни** на дисертаційну роботу Рудакова  
Леоніда Миколайовича на тему «Науково-технічні засади управління  
екологічною безпекою гідротехнічних споруд гірничопромислового  
комплексу», представлену на здобуття наукового ступеня доктора  
технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека

### **Актуальність обраної теми досліджень**

Інтенсивний розвиток гірничодобувної промисловості України, зокрема у Дніпропетровському регіоні, призвів до концентрації значних обсягів високотоксичних та радіоактивних відходів збагачення корисних копалин у накопичувачах, хвостосховищах та шламосховищах. Більшість огорожувальних дамб та гідротехнічних споруд (ГТС) цих об'єктів експлуатуються протягом тривалого часу, зазнаючи прогресуючої деградації внаслідок антропогенного перезволоження, зсувних процесів, суфозії та динамічних навантажень. Порушення гідродинамічної рівноваги таких систем створює реальні загрози масштабних катастроф із довгостроковим радіоактивним та хімічним забрудненням поверхневих і підземних водних артерій, включаючи басейн р. Дніпро.

Традиційні методи моніторингу ГТС часто є реактивними і не дозволяють своєчасно ідентифікувати приховані вогнища внутрішньої ерозії чи деструкції на ранніх стадіях. У зв'язку з цим, дисертаційна робота Рудакова Л.М., спрямована на розробку інтегрованої системи управління екологічною безпекою ГТС шляхом поєднання інструментальних геофізичних методів експрес-діагностики та прогностичного комп'ютерного моделювання, є надзвичайно актуальною.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота була виконана в межах науково-дослідних робіт: № 2929-п «Науково-практичні засади підвищення безпечної експлуатації ґрунтових гідротехнічних споруд» (2022–2025 рр., № держреєстрації 0122U201615), № 2113-п «Інноваційні пріоритети розвитку водокористування в басейнах річок Дніпропетровщини з урахуванням змін клімату і кризових ситуацій» (2025 р., № держреєстрації 0125U001424,); № 2504-п «Розробка інформаційних технологій проектування та раціонального функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів» (2015–2019 рр., № держреєстрації 0114U005587); № 2733-п «Розробка геоінформаційних технологій проектування, моделювання та моніторингу водогосподарських об'єктів» (2020– 2024 рр., № держреєстрації 0120U100321), №0122U201614 «Моніторинг небезпечних техногенних процесів у Дніпропетровській області»; № 0114U006324 «Розробка методики визначення технічного стану ґрунтових гідротехнічних споруд геофізичними методами»; № 0110U001969 «Формування екологічно безпечного

навколишнього середовища та безпеки життєдіяльності в Придніпровському регіоні»; а також багатьох госпдоговірних робіт.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації, їх достовірність та наукова новизна**

Наукові положення, які виносяться на захист здобувачем, повною мірою відображають отримані наукові результати та є достатньо обґрунтованими.

Наукові положення, що виносяться на захист, сформульовані автором наступним чином:

1. Одним з чинників підвищення рівня техногенної небезпеки хвостосховищ є сучасна зміна клімату (зростання температури на  $2,0-2,3^{\circ}\text{C}$  та зниження гідротермічного коефіцієнта прибутку на  $0,037-0,042$ ), що призводить до пересихання ґрунтового покриву дамб із подальшим тріщиноутворенням і під час інтенсивних злив зумовлює неконтрольоване перезволоження матеріалів, активізацію фільтрації та ерозійних процесів (зокрема суфозії). Це обумовлює щорічне розширення параметрів зон замочування дамб на 10-15%, яке підтверджено польовими спостереженнями та математичним моделюванням.

2. Тектонічна будова району розташування визначає в дамбах ГТС ступінь розвитку тріщин, максимальна кількість яких приурочена до основних глибинних розломів Українського щита ортогональної системи і пригніченої системи північно-західних напрямків з азимутами простягання  $300^{\circ}-330^{\circ}$ , за якими відбуваються сучасні рухи, що може розглядатися як тектонічний фактор підготовки дамб ГТС до прояви небезпечних процесів. Техногенні вібрації (вибухи, рух транспорту тощо) підсилюють роль тектонічного фактору та пришвидшують фільтраційно-деформаційні процеси.

3. Рівень екологічної безпеки рівнинних хвостосховищ визначається впливом обводнення на геомеханічну стійкість огорожувальних дамб, яке підтверджується чисельним моделюванням і проявляється зниженням фізико-механічної міцності порід зі збільшенням водонасичення, а також буферними властивостями дамб, водоносних горизонтів і донних відкладів у прилеглих невеликих водотоках, які уповільнюють міграцію небезпечних сполук до поверхневих водних об'єктів на один-два порядки внаслідок сорбційних властивостей порід.

Наукові положення, висновки і практичні рекомендації, що сформульовані в дисертації, базуються на методологічно вивіреному поєднанні теоретичних досліджень, математичного моделювання (зокрема в програмних комплексах на зразок Phase 2) та масштабних багаторічних експериментально-польових спостережень безпосередньо на критичних об'єктах Дніпропетровщини (хвостосховища «Дніпровське», «Сухачівське», Вільногірського ГМК у балці Скажена та великі меліоративні системи).

Достовірність результатів підтверджується:

- Використанням сучасного сертифікованого геофізичного

обладнання для фіксації параметрів природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) та вертикального електричного зондування (ВЕЗ).

- Кореляцією отриманих геофізичних аномалій із прямими інструментальними даними мереж п'єзометричних свердловин.
- Застосуванням класичних законів гідродинаміки, теорії фільтрації та механіки ґрунтів під час математичного моделювання напружено-деформаційного стану дамб.
- Значним обсягом статистичної та аналітичної вибірки.

### **Наукова новизна отриманих результатів і практичне значення результатів досліджень**

Дисертація містить низку пріоритетних наукових результатів, які суттєво розвивають теоретико-методологічну базу спеціальності «Екологічна безпека». До найважливіших елементів новизни слід віднести:

1. Сформульовано цілісну наукову концепцію, яка вперше об'єднує промислові хвостосховища та цивільні зрошувальні системи в єдину регіональну гідродинамічну мережу. Це дозволяє розглядати цивільні ГТС як стратегічні інженерні бар'єри для локалізації техногенного забруднення в умовах аварій чи воєнних дій.

2. Встановлено закономірності трансформації параметрів ПЕМПЗ під впливом активних процесів внутрішньої суфозії, інфільтрації та ущільнення тіла ґрунтових дамб. Експериментально доведено взаємозв'язок між питомим електричним опором, вологістю ґрунтів та інтенсивністю фільтраційних потоків.

3. Визначено критичні порогові значення інтенсивності випромінювання ПЕМПЗ, які виступають прямими індикаторами переходу системи «структура-середовище» у критичний стан перед загрозою прориву.

4. Удосконалено математичні моделі адсорбції та міграції радіонуклідів (зокрема ізотопів урану) в підземних горизонтах з урахуванням гідравлічного зв'язку хвостосховищ із поверхневими водотоками (на прикладі р. Коноплянка та р. Дніпро).

5. Обґрунтовано екологічні ризики сукупної дії антропогенного обводнення, сейсмічної активності та вібраційних навантажень від важкого транспорту на стійкість укосів споруд, що дозволило уточнити коефіцієнти стійкості ( $k_s$ ) для реальних профілів.

Практична цінність роботи є надзвичайно високою і підтверджується реальними впровадженнями. Розроблені автором методичні підходи та технічні рішення дозволяють перейти від реактивного усунення наслідків аварій до проактивного управління ризиками.

Основні практичні здобутки:

- Для ДП «Бар'єр» та хвостосховища «Дніпровське» розроблено та обґрунтовано інженерний проєкт рекультивації із формуванням багатопарового захисного екрану (із залученням фосфогіпсу), що локалізує вітрову ерозію (пиління) та мінімізує інфільтрацію зливних опадів. Отримано

розрахункові параметри максимальних витрат зливогого стоку ( $Q_{1\%}$  та  $Q_{5\%}$ ) для проєктування ловчих каналів.

- Для Вільногірського ГМК (балка Скажена) обґрунтовано високу екологічну та економічну доцільність створення протифільтраційної завіси методом ін'єктування глиноцементного розчину в тіло дамби для зниження порового тиску й ліквідації виходу токсичних фільтратів.

- Для водогосподарського комплексу запропоновано експрес-методику визначення прихованих витоків води крізь бетонне облицювання магістральних каналів, що запобігає підтопленню та вторинному засоленню сільськогосподарських угідь.

- Автор є співавтором низки патентів України на винаходи та корисні моделі (зокрема щодо розчинів для протифільтраційних завіс, способів рекультивації уранових хвостосховищ та способів біологічного закріплення поверхонь).

### **Оцінка змісту роботи та повнота висвітлення основних положень, висновків і рекомендацій у друкованих працях**

У вступній частині обґрунтовується надзвичайна актуальність теми, яка зумовлена критичним фізичним зносом гідротехнічних споруд та накопиченням понад 6 мільярдів тонн небезпечних відходів у хвостосховищах України. Особлива увага приділяється Дніпропетровській області, яка зазнає найвищого техногенного навантаження в країні. Автор окреслює нові виклики для екологічної безпеки, пов'язані зі зміною клімату, що провокує зливи та надмірне обводнення дамб, а також ризики воєнних руйнувань внаслідок бойових дій. Формулюється головна мета роботи, яка полягає в обґрунтуванні науково-технічних засад превентивного управління безпекою цих об'єктів за допомогою методів неруйнівного контролю. Цей структурний елемент чітко визначає об'єкт, предмет та комплексний інструментарій наукового пошуку. Наведені параметри дозволяють сформулювати цілісне уявлення про масштаб екологічних загроз для водних ресурсів регіону. Захищається оригінальна ідея об'єднання промислових і цивільних мереж у єдину регіональну гідродинамічну систему для оперативного реагування на надзвичайні ситуації.

Перший розділ присвячено глобальному аналізу причин виникнення аварійних ситуацій на наливних конструкціях у світовій та вітчизняній практиці. Здобувач класифікує чинники техногенного навантаження та виявляє серйозні науково-практичні розриви між застарілими методами моніторингу і стрімкою деградацією технічного стану дамб. Оцінюється кумулятивний ефект впливу кліматичних коливань та неотектонічних рухів на прискорення руйнування захисних споруд. Аналітичний огляд літератури дозволив автору виділити найбільш вразливі елементи конструкцій, які потребують першочергового інструментального обстеження. Дослідження підтверджує, що існуючі нормативні підходи часто ігнорують сукупний вплив природних і штучних факторів на міцність тіла дамби. Це дозволило чітко окреслити «білі плями» у сучасній теорії екологічної безпеки та закласти теоретичний фундамент для наступних етапів роботи.

У другому розділі детально описується методологія комплексних досліджень та інструментального контролю ГТС, що базується на інтеграції неруйнівних методів. Автор поєднує метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі для експрес-діагностики прихованих зон фільтрації з методом вертикального електричного зондування для визначення дзеркала залягання підземних вод. Також у методологію включено радіометричні вимірювання для фіксації міграційних потоків токсичних речовин і радіонуклідів. Створюється алгоритмічна база для математичного моделювання напружено-деформованого стану ґрунтових масивів за допомогою спеціалізованого програмного комплексу Phase 2. Запропоноване поєднання методів дозволяє отримувати високоточні географічні та картографічні моделі поверхонь досліджуваних об'єктів. Розроблений методичний підхід суттєво підвищує достовірність одержуваних результатів завдяки перехресній перевірці польових та теоретичних даних.

Третій розділ є експериментальним ядром дисертації, де наведено результати польових спостережень на хвостосховищах «Дніпровське» та «Сухачівське». Встановлено, що параметри зон обводнення та фільтрації дамб під впливом атмосферних опадів щорічно розширюються на 10 -15%. Вперше експериментально доведено та обґрунтовано геотектонічний фактор: напрямки утворення тріщин у ґрунтових дамбах генетично збігаються з векторами глибинних розломів Українського кристалічного щита. Техногенні вібрації від промислової діяльності та транспорту лише посилюють ці деформаційні процеси. Побудовані комп'ютерні моделі водної міграції радіонуклідів показали, що фронт забруднення ураном рухається крізь підземні горизонти, але завдяки буферним сорбційним властивостям порід ще не досяг річки Коноплянка. Моделювання чітко демонструє динаміку накопичення напружень у тілі споруд, яка загрожує раптовим зсувом укосів при досягненні критичного рівня водонасичення.

У четвертому розділі реалізовано практичне впровадження результатів через розрахунок інтегральних індексів безпеки та обґрунтування інженерно-технічних рішень. Модернізовано європейську методику UBA, за допомогою якої розраховано індекси екологічної небезпеки (ТНІ) та ризику (ТРИ), визначивши хвостосховище «Дніпровське» як найбільш загрозливий об'єкт. Для мінімізації ризиків запропоновано створення багатошарових протифільтраційних екранів із радіаційно стійких еластомерів, бентонітових матів та біологічного захисного шару рослин. Для інших промислових дамб обґрунтовано технологію створення водонепроникних завіс шляхом ін'єктування розчинів із додаванням відходів виробництва (бокситового шламу та золи). Проведено ґрунтове порівняльне техніко-економічне оцінювання розроблених заходів для спрощення прийняття інвестиційних та управлінських рішень. Впровадження цих технологій гарантує надійний превентивний захист прилеглих територій від екологічних катастроф.

У п'ятому розділі дисертації розроблено та обґрунтовано комплекс інноваційних технічних рішень для підвищення рівня екологічної та радіаційної безпеки гідротехнічних споруд на всіх етапах їхнього життєвого

циклу. Для проектування нових об'єктів запропоновано перехід до маловодних технологій (сухого складування та пастового згущення відходів), що дозволяє відмовитися від наливних дамб і повернути у виробничий цикл до 85% технічної води. Стабілізація застарілих хвостосховищ досягається методами струминної цементації для створення внутрішніх опор, системами вертикального дренажу та вакуумування для зниження порового тиску, а також поверхневою ізоляцією геосинтетичними мембранами.

Для критично небезпечного радіоактивного хвостосховища «Дніпровське» розроблено детальну технологію рекультивації, яка передбачає вирівнювання поверхні фосфогіпсом, укладання радіаційно стійкого еластомерного матеріалу та пошарове формування водонепроникного глиняного бар'єру. Для підвищення стійкості греблі Вільногірського ГМК науково обґрунтовано створення ін'єкційної протифільтраційної завіси шляхом нагнітання 4,6 тис. м<sup>3</sup> спеціального глиноцементного розчину з додаванням бокситового шламу та золи ТЕС. Загалом у розділі сформовано чітку класифікацію технологічних рішень модернізації та рекультивації ГТС, диференційовану за їхнім технічним станом, екологічним ризиком та економічною доцільністю.

У висновках підбиваються підсумки всього дисертаційного дослідження та констатується вирішення важливої науково-технічної проблеми. Сформульовано нову наукову концепцію, яка доводить необхідність сумісного моніторингу промислових і цивільних споруд для усунення кумулятивного ефекту підтоплення земель. Запропоновані інструменти та моделі дозволяють органам нагляду здійснювати повноцінний екологічний аудит. Результати роботи вже успішно апробовані на державному підприємстві «Бар'єр» та впроваджені в освітній процес для підготовки майбутніх екологів. Практична реалізація положень дисертації робить суттєвий внесок у зміцнення екологічної та національної безпеки держави під час повоєнної відбудови.

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в повному обсязі в 40 наукових праць, в тому числі: 2 монографії, 18 статей у наукових фахових виданнях, з яких 7 статей у виданнях, індексованих у наукометричній базі Scopus і WoS, 10 патентів на корисну модель, 10 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій. Структура публікацій відповідає всім вимогам до докторських дисертацій. Серед наукових праць присутні фундаментальні статті у провідних міжнародних виданнях, які індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science (зокрема в Journal of Environmental Radioactivity, Mining of Mineral Deposits, Journal of Geology, Geography and Geocology тощо).

#### **Відсутність порушень академічної доброчесності**

За результатами ретельного аналізу тексту дисертаційної роботи, опублікованих наукових праць і матеріалів автора, а також уважного вивчення звіту перевірки на наявність текстових запозичень не встановлено порушень принципів академічної доброчесності. Використання ідей, наукових результатів, цитат чи текстів інших дослідників супроводжується

коректними бібліографічними посиланнями на першоджерела. Бібліографічне оформлення виконано належним чином, що свідчить про дотримання здобувачем вимог академічної етики та належну культуру наукової роботи.

### **Зауваження та дискусійні питання щодо змісту роботи**

Попри загальну високу якість, ґрунтовність та беззаперечну наукову і практичну цінність дисертаційного дослідження Рудакова Л.М., до роботи можна висловити такі зауваження та дискусійні питання:

1. В другому розділі роботи незрозуміло, як у формулі (2.28) враховується потужність водоносного пласта  $m$ . Слід було б привести розшифровку величин масопотоків  $qv_1$  і  $qv_2$  через покрівлю і подошву пласта.

2. В формулі (2.25), другий розділ, нема пояснень щодо величини  $N$ .

3. На стор.89 автор висловлює думку, що аналітичні методи мають деякі переваги перед чисельними, як менш витратні, однак ці методи потребують багато схематизації і не дозволяють моделювати геофільтрацію і міграцію речовин в умовах просторової неоднорідності та складної геологічної будови.

4. На нашу думку, в другому розділі роботи слід було б більш детально зупинитися на аналізі вітчизняних нормативних документів існуючих методів моніторингових досліджень ГТС.

5. На рис. 3.18 немає розшифровки позначень. Доцільно було б вказати також перевищення виходу фільтраційного потоку на ділянку височування над рівнем НБ.

6. Які вагові коефіцієнти застосовує автор для параметрів при визначенні індексу небезпеки хвостосховищ?

7. Концепція об'єднання промислових хвостосховищ і цивільних меліоративних каналів в єдину гідродинамічну мережу є сміливою та оригінальною. Проте виникає питання: чи розглядалися автором ризики зворотного впливу, коли інтенсивні фільтраційні втрати з цивільних каналів можуть штучно піднімати рівень ґрунтових вод біля промислових накопичувачів і тим самим знижувати їх безпеку?

8. У розділі 5 при порівнянні варіантів ремонту ГТС меліоративних систем вказано, що улаштування протифільтраційної завіси окупається за 4 роки, а поточний ремонт швів – за 3 роки. Чи враховувався при цьому екологічний збиток від виведення з обігу підтоплених і засолених земель, чи розрахунок здійснювався суто за вартістю втраченої поливної води?

9. В оформленні окремих графічних матеріалів та додатків зустрічаються дрібні технічні погрішності та неузгодженості в умовних позначеннях, що, однак, не впливає на загальний високий науковий рівень роботи.

Зазначені зауваження мають переважно дискусійний та рекомендаційний характер і не знижують високої позитивної оцінки дисертації в цілому.

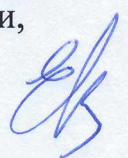
**Відповідність дисертації встановленим вимогам**

Дисертаційна робота Рудакова Леоніда Миколайовича «Науково-технічні засади управління екологічною безпекою гідротехнічних споруд гірничопромислового комплексу» за своєю актуальністю, науковою новизною, обсягом експериментальних досліджень, рівнем практичного впровадження та повнотою публікацій є завершеною кваліфікаційною науковою працею. Робота повністю відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого Кабінетом Міністрів України, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Автор роботи, Рудаков Леонід Миколайович, безумовно заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека.

Офіційний опонент:

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

 Олена ВОЛОШКІНА

Підпис д.т.н., проф. Волошкіної О.С. засвідчую

Вчений секретар

Микола КЛИМЕНКО



*Відгук отримано 14.06.2016*  
*Вчений секретар Я.О.О.О.О.*

