

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ



На правах рукопису

**ГАШЧ ГЕННАДІЙ ВАСИЛЬОВИЧ**

УДК: 627.8.059: 626.8: 631.6

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ҐРУНТОВИХ  
ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ВОДОГОСПОДАРСЬКО-  
МЕЛІОРАТИВНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

06.01.02 – сільськогосподарські меліорації  
(технічні науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі екології та охорони навколишнього середовища Дніпровського державного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор геологічних наук, професор  
**Пікареня Дмитро Сергійович**  
Дніпровський державний технічний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
професор кафедри екології та охорони  
навколишнього середовища (м. Кам'янське)

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Рокочинський Анатолій Миколайович**  
Національний університет водного  
господарства та природокористування  
Міністерства освіти і науки України, м. Рівне  
завідувач кафедри природооблаштування та гідромеліорацій

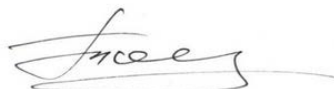
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
**Коваленко Олександр Васильович**  
Інститут водних проблем і меліорації  
Національної академії аграрних наук України, м. Київ,  
завідувач відділу експлуатації водогосподарсько-  
меліоративних систем

Захист відбудеться «30» червня 2017 р. о 10-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.362.01 в Інституті водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України за адресою: 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 37

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України за адресою: 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 37

Автореферат розіслано «\_\_\_» травня 2017 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник



Т. І. Топольнік

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Ґрунтові гідротехнічні споруди (ГТС) водогосподарсько-меліоративного призначення в переважній більшості були побудовані в середині минулого сторіччя та відносяться до класу наслідків (відповідальності) СС1. На сьогодні більшість з них вичерпали нормативні терміни експлуатації, зазнали значного технічного зносу, що призвело до порушення технічного стану, зниження рівня їх безпечної експлуатації та може спричинити розвиток аварійних ситуацій. Як показує світовий та вітчизняний досвід експлуатації, понад 65 % аварій на ґрунтових греблях пов'язані з внутрішньою ерозією, зсувами укосів та фільтраційними деформаціями. Майже всі ГТС старої побудови потребують ремонтно-відновлювальних робіт. Одночасно зробити це неможливо, тому необхідне застосування комплексу діагностичних обстежень з метою визначення ГТС, які потребують першочергового ремонту. Натепер оцінювання технічного стану та відповідності показників безпечної роботи таких споруд здійснюється здебільшого візуально, а у випадках додаткового їх обладнання закладною контрольно-вимірювальною апаратурою (КВА) виконуються інструментальні дослідження; епізодично застосовуються доволі вартісні та трудомісткі дистанційні методи, що дозволяють виявити ділянки зосередженої фільтрації води крізь тіло ГТС, зони утворення тріщин та суфозії. Крім того, підвищення рівня безпечної роботи та надійної експлуатації ґрунтових ГТС потребує розробки та запровадження системи постійно діючого моніторингу за всіма типами та класами споруд, особливо тих, які розташовані в каскадах на річках.

Таким чином, підвищення експлуатаційної безпеки ґрунтових ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення шляхом удосконалення існуючих підходів до оцінювання їх технічного стану в комплексі заходів з попередження та усунення небезпечних проявів щодо їх деформації та можливої руйнації є актуальним науково-практичним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основою дисертаційної роботи є результати наукових досліджень, які отримані автором у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт «Розробка методики визначення технічного стану ґрунтових гідротехнічних споруд геофізичними методами» (№ ДР 0114U006324, 2016 р.) та «Формування екологічно безпечного навколишнього середовища та безпеки життєдіяльності в Придніпровському регіоні» (№ ДР 0110U001969, 2013 р.), виконаних в Дніпропетровському державному аграрно-економічному університеті відповідно до «Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року», затвердженої Законом України від 24 травня 2012 року (№ 4836-VI); держбюджетної науково-дослідної теми «Розробка геоекологічних інформаційних систем керування процесами рекультивациі земель, які порушені при видобутку корисних копалин» (№ ДР 0112U000346, 2013 р.), яка виконана в Дніпродзержинському державному технічному університеті за пріоритетними напрямками «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» на замовлення Міністерства освіти і науки України.

**Мета і завдання досліджень.** *Метою* досліджень є підвищення експлуатаційної безпеки ґрунтових гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного призначення.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі *завдання*:

1. Оцінити сучасний стан та рівень технічної експлуатації ґрунтових ГТС, встановити основні чинники, які призводять до аварій та руйнування гідротехнічних споруд з ґрунтових матеріалів, обґрунтувати необхідність і можливі підходи до підвищення їх експлуатаційної безпеки.

2. Визначити можливості, переваги та недоліки існуючих методів і засобів контролю технічного стану ґрунтових ГТС для розробки та удосконалення найбільш оптимальних способів їх діагностики в сучасних умовах експлуатації.

3. Оцінити ефективність застосування геофізичного методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) для діагностики технічного стану ґрунтових ГТС шляхом проведення дослідно-методичних робіт на еталонній греблі, яка знаходиться під постійним інженерно-технічним контролем та обладнана закладною КВА.

4. Дослідити технічний стан гребель і дамб водогосподарсько-меліоративного призначення та проаналізувати безпеку експлуатації ГТС, які мають каскадне розташування, в умовах проходження дощових (зливових) паводків або у випадку гідродинамічної аварії на розташованих вище водоймах.

5. Обґрунтувати метод та розробити методику оцінювання інженерно-технічного стану та безпеки під час експлуатації ґрунтових ГТС і запропонувати комплекс заходів щодо організації безпечної роботи як окремих споруд, так і тих, що розташовані в каскаді.

6. Провести еколого-економічне оцінювання ефективності запровадження результатів досліджень та розроблених заходів щодо попередження гідродинамічних аварій на каскаді штучних водних об'єктів на річках.

**Об'єкт дослідження** – природні та техногенні процеси, що впливають на безпеку експлуатації ґрунтових гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного призначення.

**Предмет дослідження** – заходи та засоби для підвищення експлуатаційної безпеки ґрунтових гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного призначення та методи з обґрунтування їх параметрів.

**Методи дослідження.** Для визначення технічного стану ГТС проведені візуальні та інструментальні дослідження із застосуванням геофізичного методу ПЕМПЗ. При побудові карт за даними ПЕМПЗ використана програма Golden Software Surfer 8.

Інтерпретація карт виконувалась з використанням відомих критеріїв та ознак, розроблених для геофізичних полів Землі. Вологість зразків ґрунтів з тіла ГТС визначена за допомогою загальноприйнятих лабораторних методів. Оцінка технічного стану дамб проведена шляхом узагальнення результатів візуального обстеження, даних ПЕМПЗ, показників КВА та лабораторних досліджень. Прогнозування та оцінювання безпеки в межах впливу гідротехнічних споруд виконані за стандартними математичними і аналітичними методиками.

Розрахунки та опрацювання отриманих результатів досліджень проводились із застосуванням комп'ютерних програм Microsoft Excel, AutoCAD, АВК.

#### **Наукова новизна результатів досліджень:**

1. Науково обґрунтовано підхід випереджаючого виявлення фільтраційних деформацій та не проявлених зовні ділянок порушеного стану ґрунтових ГТС, який, на відміну від наявного точкового, здійснюваного традиційно (геодезичні марки та репери, закладна контрольна-вимірвальна апаратура та ін.), полягає у визначенні їх параметрів геофізичним методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) у профільно-площадковому варіанті з кроком 3 – 5 м шляхом створення сіткової мережі спостережень, залежно від типу, конструкції та параметрів споруди.

2. Удосконалено підхід щодо встановлення експлуатаційної безпеки ґрунтової ГТС, який, на відміну від наявного, здійснюється шляхом визначення положення критичної точки коефіцієнта стійкості низового укосу залежно від кривої депресії та конструктивних параметрів споруди і дає змогу оцінити ймовірність її руйнування внаслідок павод-

ків або гідродинамічної аварії на розташованих вище за течією аналогічних об'єктах.

3. Удосконалено метод оцінювання рівня безпечної експлуатації ґрунтових ГТС на основі застосування науково обґрунтованого комплексу традиційних показників їх технічного стану та небезпеки або можливих наслідків (загроз) у випадку їх аварії, враховуючи при цьому господарське призначення водойми, наявність у фронті прориву екологічно небезпечних об'єктів (скотомогильники, накопичувачі стічних вод та ін.), площі можливого затоплення (підтоплення) території тощо.

#### **Практична цінність роботи:**

- розроблено та обґрунтовано спосіб встановлення прихованих зон підвищеної фільтрації ґрунтових дамб (гребель), який дозволяє виявляти небезпечні інженерно-геологічні процеси на стадіях їх початкового формування і розвитку, що підтверджено патентом України на корисну модель № 90731;

- запропоновано графоаналітичний спосіб встановлення критичної точки рівня безпечної експлуатації ґрунтової ГТС, яка залежить від положення кривої депресії та конструктивних параметрів споруди, що дозволяє встановити ймовірність руйнування (обрушення укосу) споруди залежно від підвищення рівня води у верхньому б'єфі внаслідок паводків або гідродинамічної аварії на розташованих вище за течією об'єктах;

- розроблено спосіб та методику виявлення початкових стадій формування та розвитку осередків зосередженої фільтрації води в тілі та основі ґрунтової ГТС геофізичним методом ПЕМПЗ, що надає змогу знизити вартість і трудомісткість робіт та збільшити частоту моніторингових досліджень технічного стану об'єктів і забезпечити безпеку їх експлуатації;

- доведена доцільність залучення дистанційних методів контролю та діагностики для ефективної експлуатації ГТС та з метою прогнозування у часі їх технічного стану, що в комплексі з відомими методами оцінки підвищує експлуатаційну безпеку даних споруд;

- встановлено якісні показники та кількісні параметри каскаду ґрунтових ГТС на річці Нижня Терса в Дніпропетровській області, а також визначені об'єкти, експлуатаційна безпека яких знижується у випадку надходження понаднормативних об'ємів води внаслідок паводків або руйнування розташованої вище дамби, що дозволяє вжити заходів для запобігання гідродинамічної аварії;

- науково-технічні розробки, отримані за результатами досліджень, використані для оцінювання технічного стану та експлуатаційної безпеки ґрунтових ГТС і впроваджені у виробництво в Синельниківському міжрайонному управлінні водного господарства Дніпропетровської області (Акт впровадження від 19.01.2012 р.);

- результати дисертаційної роботи адаптовані до навчального процесу в Дніпропетровському державному аграрно-економічному університеті при підготовці фахівців за напрямками 6.060103 «Гідротехніка (водні ресурси)»; 8.06010302 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів», 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (Акт впровадження від 31.10.2016 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійним завершеним дослідженням автора в галузі сільськогосподарських меліорацій (технічні науки).

Експериментальні, польові і теоретичні дослідження, опрацювання отриманих результатів, їх аналіз та впровадження проводилися здобувачем або за його безпосередньої участі. Автором виконано візуальні обстеження та якісний аналіз технічного стану досліджуваних гідротехнічних споруд; проведено польові дослідження із застосуванням геофізичного методу ПЕМПЗ та побудовані карти-схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ; відібрані проби та проведені їх лабораторні аналізи з визна-

чення вологості ґрунту тіла ГТС; розроблена методика розподілу гребель, розташованих у каскаді, за рівнем небезпеки та невідповідністю технічного стану; виконано інженерні розрахунки за наведеними в роботі загальноприйнятими аналітичними методиками; сформульовано всі основні положення по дисертаційній роботі, які виносяться на захист.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень, які входять до дисертаційної роботи, доповідались, обговорювались та одержали позитивну оцінку на Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Транзитна територія: екологія і транспорт» (Кременчук, 2011 р.); I Міжвузівській науково-методичній конференції «Екологічні аспекти регіонального партнерства в надзвичайних ситуаціях» (Харків, 2012 р.); Міжнародній конференції «Цілі збалансованого розвитку України» (Київ, 2013 р.); International conference 7th Dresden Symposium: Hazards-detection and management (Dresden, Deuchland, 2013 р.); XII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (Кременчук, 2013 р.); I Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації» (Дніпропетровськ, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы техносферной безопасности и природообустройства» (Благовещенск, РФ, 2014 р.); II Науково-практичній конференції молодих учених і спеціалістів «Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку землеробства» (Київ, 2014 р.); Міжнародному науковому симпозиумі «Неделя еколога» (Дніпродзержинськ, 2015 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому дню води «Вода і робочі місця» (Київ, 2016 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Управління водними ресурсами в умовах зміни клімату» (Київ, 2017 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано в 12 наукових працях, у тому числі 3 – у виданнях, що входять та індексуються в міжнародних наукометричних базах, 6 – у фахових виданнях з технічних наук; 2 – тези доповідей на конференціях та 1 патент України на корисну модель.

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 214 сторінок комп'ютерного тексту, з яких 181 сторінка – основна частина, 3 додатки на 13 сторінках. Список використаних джерел включає 179 найменувань на 20 сторінках. Робота містить 61 рисунок і 46 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі *«Обґрунтування необхідності та шляхи підвищення експлуатаційної безпеки ґрунтових гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного призначення»* проведено літературний аналіз сучасного екологічного стану водотоків та захисту територій від шкідливої дії вод, прогнозування зміни стану у часі складних природно-техногенних комплексів залежно від змінних кліматичних умов, негативних процесів і наслідків створення та експлуатації штучних водних об'єктів, експлуатаційної надійності та безпечної роботи ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення, методів і способів технічної діагностики гребель і дамб.

Цим питанням присвячені праці В. І. Аравіна, О. К. Воронкова, М. І. Гогоберідзе, П. І. Коваленка, Ю. М. Косіченка, Л. К. Малік, В. В. Малаханова, Ц. Є. Мірцхулави, А. М. Рокочинського, М. І. Ромашенка, Д. В. Стефанишина, М. М. Хлапука, Г. І. Чоговадзе, В. М. Щедрина, А. В. Яцика та багатьох інших учених.

На основі статистичних даних встановлено, що найбільш негативними процесами, які протікають в тілі ГТС та її підвалині є зосереджена фільтрація води, утворення внутрішніх

тріщин та розуцільнення ґрунтових мас, а також недостатня спроможність водоскидних пристроїв на пропуск максимальних витрат паводкових та дощових (зливових) вод.

Крім того, на безпеку експлуатації діючих ґрунтових ГТС впливають тривалий термін експлуатації, низька інженерно-технічна якість їх зведення без належної проектної документації, недостатність моніторингу і діагностики технічного стану дамб з-за дорожнечі цих заходів та трудоємності проведення досліджень, а також незначна застосовність закладної КВА.

Основні методи контролю за технічним станом дамб полягають у проведенні візуальних оглядів, що дозволяє встановити лише проявлені зовні небезпечні інженерно-геологічні процеси та порушення конструктивних параметрів ГТС. На великих греблях виконуються геодезичні спостереження за усадками і зміщеннями гребель та встановлення положення кривої депресії в тілі споруди. Як правило, такі дослідження ведуться лише на спорудах високого класу наслідків (відповідальності) СС2 та СС3 і недостатньо застосовуються під час обстежень гребель на природних водотоках класу СС1.

На підставі аналізу світового та вітчизняного досвіду експлуатації ГТС встановлено, що на низьконапірних ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення більшість відомих методів та способів оцінювання рівня безпеки не застосовуються, оскільки вони зорієнтовані на великі гідровузли, мають досить складний математичний апарат розрахунків, потребують значних витрат коштів та часу в їх застосуванні, використання спеціальних комп'ютерних програмних комплексів для опрацювання результатів.

Таким чином, розробка і застосування оперативних, недорогих та інформативних методів і засобів контролю за технічним станом ГТС є актуальною науково-практичною задачею, вирішення якої дасть змогу виявляти небезпечні процеси та потенційні аварійні ділянки в тілі дамби і підвалині, що не проявлені зовні, на стадії їх формування і розвитку та забезпечити впровадження комплексного підходу для встановлення безпеки та рівня технічної експлуатації споруд, розташованих у каскаді штучних водойм на річках.

**У другому розділі «Об'єкт, умови та методичні підходи до оцінки безпечної експлуатації ґрунтових гребель і дамб»** сформульовані мета та основні завдання, дана загальна характеристика об'єктів, умов та методики проведення досліджень.

Дослідження проведені на типових ґрунтових ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення, які розташовані в Синельниківському районі Дніпропетровської області, а також на еталонній дамбі в балці Скажена Вільногірського ГМК класу наслідків (відповідальності) СС3, яка знаходиться під постійним контролем експлуатуючої організації та обладнана закладною КВА. Ґрунтові ГТС на природних водотоках переважно мають незначні розміри споруд: довжина по гребеню від 300 до 500 м, ширина по гребеню 6 – 12 м, висота до 15 м, що відповідає класу наслідків (відповідальності) СС1. Площі водойм коливаються від перших до 50 га, глибина близько 2 – 4 м. Об'єми акумульованої води не перевищують 1 млн. м<sup>3</sup>. Споруди складені з суглинків та глин, зведені з використанням місцевих будівельних матеріалів. Унаслідок значного зарегулювання річкової мережі, гідротехнічні споруди мають каскадне розташування і знаходяться на незначній відстані одна від одної. Дані ГТС є аналогічними відносно до переважної більшості дамб і гребель, зведених на водотоках степової зони країни, оскільки мають спільні умови роботи, конструктивні параметри, способи та технологію зведення, побудовані з ґрунтових матеріалів і експлуатуються значний термін часу, що підтверджує високу репрезентативність проведених досліджень.

Під час проведення дисертаційного дослідження використано геофізичний метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі, яке є одним з природних гео-

фізичних полів Землі та характеризується нестационарним станом у будь-який момент часу. Завдяки хвильовій природі, поле ПЕМПЗ добре поширюється в земній корі, але в ділянках, де сформувалися тріщини, утворилися порожнини та відбулося заповнення їх рідиною, інтенсивність електромагнітного випромінювання (ЕМВ) різко знижується. Вважається, що енергія ЕМВ розсіюється в газі або поглинається рідиною. Оскільки гідротехнічні споруди складені ґрунтовими твердими кристалічними матеріалами, то для поля ПЕМПЗ вони є «прозорими», але в разі появи тріщин чи замочування ґрунтів усередині інтенсивність поля різко знижується. Це знаходить своє віддзеркалення в зниженні щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ, тобто в кількості імпульсів, що реєструються за час вимірювання (зазвичай 0,5 – 1,0 с). При цьому за імпульс приймається будь-яке перевищення частотно-хвильової амплітуди або енергії поля ПЕМПЗ над деяким встановленим рівнем дискримінації. Саме величина щільності потоку імпульсів покладена в основу інтерпретації досліджень ПЕМПЗ.

Дослідження ПЕМПЗ виконували за загальноприйнятими методиками проведення геофізичних робіт, оптимальними для яких є квадратна мережа спостережень. Під час польових робіт на дамбах ураховували їх незначну ширину відносно довжини, у зв'язку з чим профілі було закладено вздовж осі гребеня ГТС. Відстань між профілями, залежно від ширини гребеня, становила 2 – 5 м один від одного, в кількості не менше п'яти. Вимірювання щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ проводили приладом «СІМЕІЗ» в точках на профілях з кроком 2 – 5 м в діапазоні низьких частот від 1 до 25 кГц одночасно за трьома антенами, одна з яких розташована вертикально вниз, а дві інші – горизонтально, за орієнтацією «північ–південь» та «захід–схід» на відстані 0,2 – 0,4 м від поверхні дамби. Таке розташування мережі спостережень пов'язане з припущенням про розмір порушених ділянок. Наприклад, зона зосередженої фільтрації води крізь тіло споруди або тріщинуватості, що розташовані перпендикулярно до поздовжньої осі ГТС, може бути незначної ширини, у декілька метрів. Крім того, можливе утворення поздовжніх тріщин, які також мають незначні розміри по ширині розкриття або їх формування знаходиться на початкових стадіях. Виходячи з цього, ширина порушених ділянок та фільтрації є головним критерієм, що впливає на вибір відстані між профілями та кроку точок на них, які обрані в такий спосіб, щоб зафіксувати аномальну зону декількома профілями та точками.

За даними спостережень, у програмі «Golden Software Surfer 8» будувалися карти-схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ у масштабі 1:500-1:1000. Інтерпретацію карт виконували сумісно з доктором геологічних наук, професором – О. В. Орлінською, використовуючи відомі індикатори зон розуцільнення і тріщинуватості в геофізичних полях, для яких характерними є лінійні та ступінчасті аномалії тощо.

З урахуванням відмічених особливостей ПЕМПЗ та візуальних спостережень здійснювали інтерпретацію отриманих даних та винесення зон розвитку небезпечних процесів у натуру безпосередньо на об'єкті дослідження. За рисунком поля ПЕМПЗ виділяли ділянки різнонапруженого стану ґрунтів, якими складена дамба, що враховувалось при діагностиці можливих зон формування зсувів, утворення тріщин і пливунів у тілі тих ГТС, які візуально характеризуються задовільним станом та не мають зовнішніх ознак прояву даних процесів.

Розрахунки основних показників, що характеризують безпеку експлуатації ґрунтових ГТС та оцінювання їх технічного стану, виконані за загальноприйнятими методами для визначення коефіцієнта стійкості укусу, встановлення інтегральної оцінки

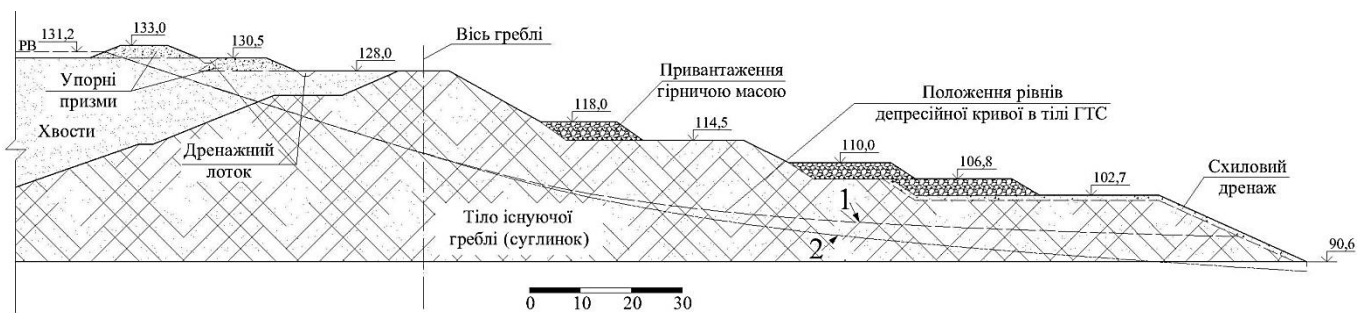


ризикую виникнення аварії та руйнування ГТС внаслідок процесів надмірної фільтрації, які представлені в нормативно-технічній літературі.

Достовірність отриманих результатів забезпечується загальноприйнятими методами досліджень та їх опрацюванням з використанням ПК, значною кількістю проведених на 14 типових гідротехнічних спорудах польових робіт, під час яких загальна довжина піших ходів та профілів геофізичних вимірювань склала 10,2 км, а кількість спостережень на профілях – 8,6 тис. точок.

У третьому розділі «Оцінювання експлуатаційної безпеки діючих ґрунтових гідротехнічних споруд» представлені результати діагностики технічного стану ГТС. Для обґрунтування можливості застосування дистанційного геофізичного методу ПЕМПЗ задля визначення технічного стану ґрунтових гребель водогосподарсько-меліоративного призначення, проведені дослідно-методичні роботи на греблі Вільногірського ГМК, яка обладнана закладною КВА (п'єзометри та геодезичні репери) і знаходиться під постійним моніторинговим спостереженням експлуатуючої організації.

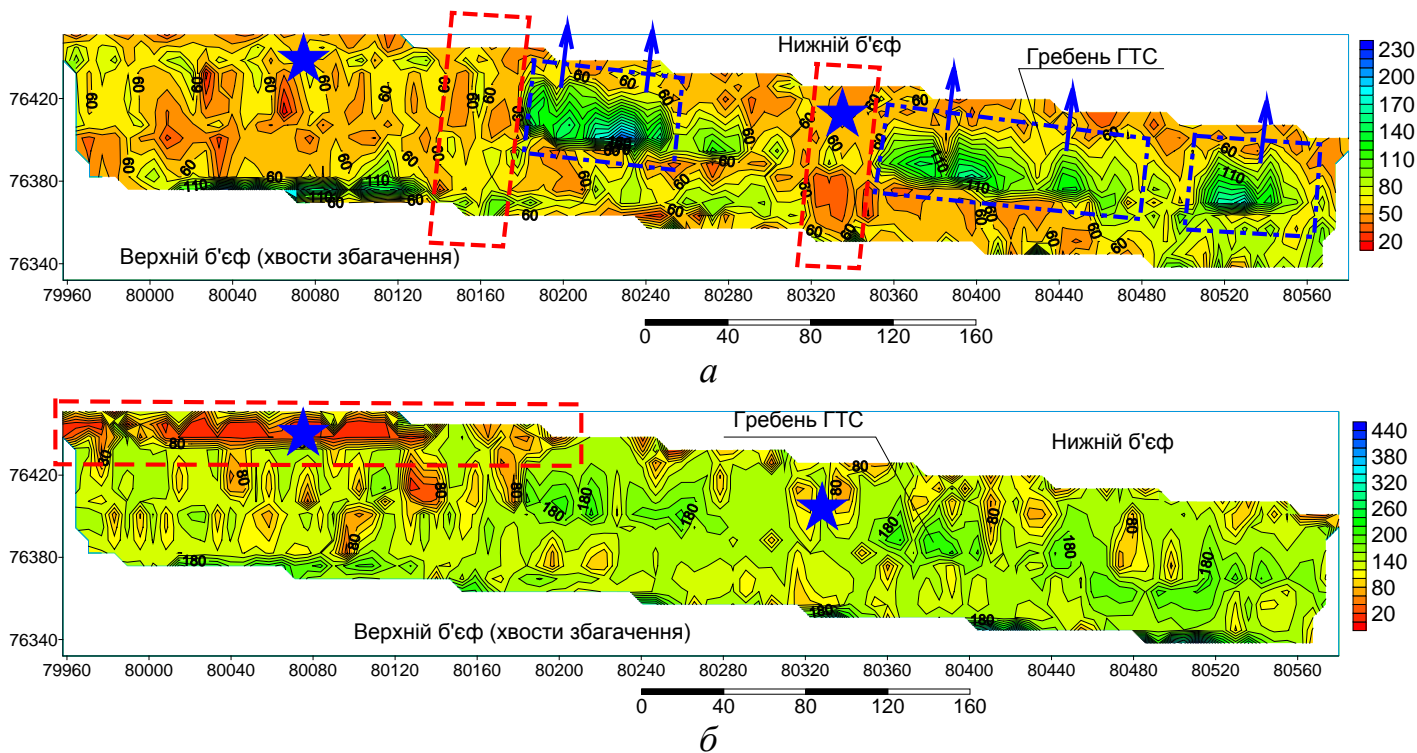
Ґрунтова гребля хвостосховища розташована в балці «Скажена» Вільногірського ГМК. Відмітка гребеня неодноразово нарощувалась, унаслідок чого на момент проведення досліджень висота споруди становила 45,5 м, довжина 1200 м, а повний об'єм хвостосховища сягав понад 71 млн м<sup>3</sup>. Останнє нарощення висоти ГТС у 2010 році призвело до водонасичення низового укосу та поступового підйому рівня води в тілі споруди (рис. 1), про що свідчать дані спостережень за п'єзометрами протягом 2007 – 2011 рр.



**Рис. 1.** Динаміка зміни кривої депресії в тілі греблі ВГМК: 1 – положення кривої станом на лютий 2011 року; 2 – положення кривої станом на лютий 2007 року

Дослідження технічного стану ГТС виконували у два етапи: перший етап – візуальний огляд, другий етап – інструментальні дослідження методом ПЕМПЗ, які були зосереджені на бермах з абсолютними відмітками 133,0; 130,5 і 128,0 м. На гребені і бермах через 5 м були розбиті профілі, а через 3 м – точки спостережень. Загальна кількість профілів – 9, а спостережень – 2005 точок. За даними зйомки побудовані карти-схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ з виділеними зонами розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів (рис. 2).

Інтерпретація карт-схем ПЕМПЗ підтверджує значне водонасичення тіла ГТС. Разом з тим, виділяються зони з підвищеними значеннями щільності потоку імпульсів (з координатами по осі абсцис): 80180 – 80250; 80360 – 80420; 80510 – 80550 м. Ці ділянки характеризуються виникненням напружено-деформованого стану тіла греблі і є ознакою формування зсувів. Утворені напруги сприяють формуванню зони відриву ґрунтів греблі з подальшим сповзанням. Небезпечні ділянки зсувів розділені зонами з низькими значеннями щільності потоку імпульсів, що свідчить про формування ділянок підвищеної фільтрації води в тілі ГТС. Результати інтерпретації за даними зйомки ПЕМПЗ та візуального огляду споруди підтверджують наявні ділянки водонасичення тіла ГТС.



**Рис. 2. Карти-схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ на греблі ВГМК: а – за антеною зорієнтованою поперек греблі; б – за антеною зорієнтованою вздовж греблі**

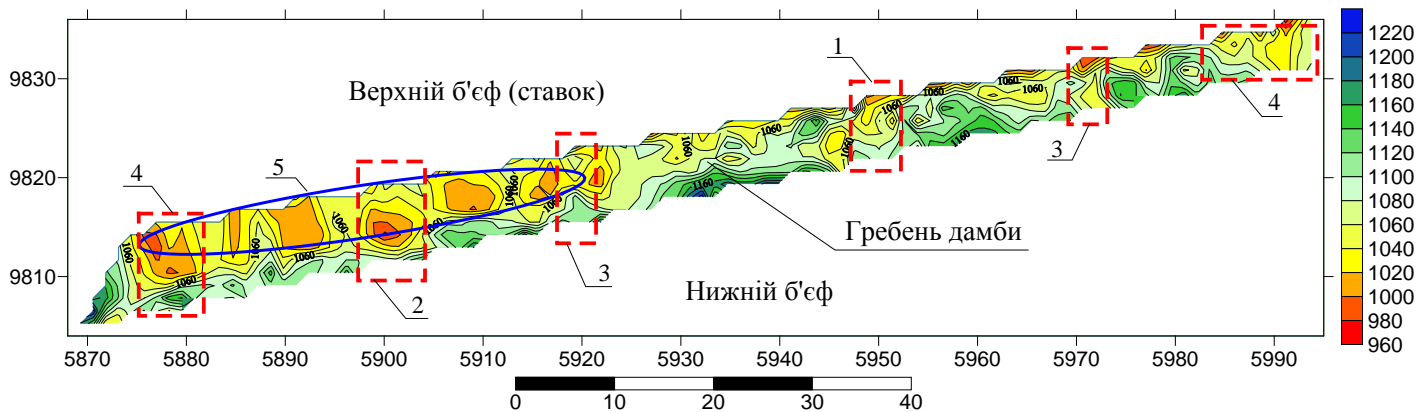
Примітка: підписи по осях абсцис і ординат – відстані в метрах; вісь Y спрямована на північ, вісь X – на схід; кольорова шкала характеризує щільність потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ (умовних одиниць); червоний контур – зони обводнення і підвищеної фільтрації в тілі ГТС; синій контур – тіла формування зсувів; стрілки – імовірні площини відриву зсувів і напрямом сповзання; зірочка – візуально зафіксовані ділянки росту очеретяної рослинності.

Спираючись на загальноприйняті методи та результати комплексного аналізу отриманих даних, визначено інтегральний показник ризику аварії  $R_a=0,215$ , який характеризує технічний стан ГТС *пониженням рівнем безпечної експлуатації*.

Дослідженнями доведено високу збіжність результатів візуального та інструментального (КВА) спостережень, а саме: зони замочування з розвитком очеретяної рослинності, які проявлені на низовому укосі греблі та фіксуються візуально, збігаються з даними вимірів ПЕМПЗ; побудовані карти гідроізогіпс на основі даних спостережень за трьома створами п'єзометрів указують на підвищення рівня кривої депресії у центральній частині тіла ГТС, що відповідає дослідженням ПЕМПЗ (рис. 2, координати по осі абсцис: 80320 – 80360). Крім того, за даними геофізичної зйомки встановлені потенційні ділянки формування зсувів, які не мають зовнішніх проявів, що доводить доцільність та ефективність застосування геофізичного методу ПЕМПЗ для оперативної діагностики технічного стану ґрунтових гребель (дамб), а особливо тих, які не мають у своєму складі закладної КВА та потребують не лише візуальних оглядів, а й застосування інструментальних досліджень.

На підставі отриманих результатів досліджень на еталонній греблі доведено можливість та доцільність застосування методу ПЕМПЗ на ґрунтових ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення, які не мають закладної КВА.

Ефективність впровадження даного підходу представлена на прикладі ґрунтової дамби на ставку «Старовишневецьке». На ГТС виконані візуальні діагностичні обстеження та польові дослідження методом ПЕМПЗ за викладеною методикою (рис. 3).



**Рис. 3. Карта-схема щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ на греблі ставка «Старовишневецьке»**

Примітка: система координат – умовна, в метрах; вісь Y спрямована на північ, вісь X – на схід; градаційна кольорова шкала характеризує щільність потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ. Червоними прямокутниками з номерами позначені зони розривних порушень та розуцільнення ґрунту (пояснення в тексті); синя лінія – зона розмиву верхньої частини гребня дамби.

Інтерпретація карти-схеми та аналіз результатів досліджень дозволили встановити, що в тілі дамби, крім порушених частин, які фіксуються візуально (рис. 3, №1, 2), встановлено декілька зон локальної фільтрації та водонасичення ґрунтів тіла ГТС (рис. 3, №3, 4). До того ж, дослідження методом ПЕМПЗ чітко зафіксували ділянку розмиву верхньої частини гребеня дамби (рис. 3, №5), яка характеризується розмивом верхнього укосу споруди та виходом фільтраційного потоку з боку нижнього б'єфу (НБ) у вигляді зосередженого потоку води.

Аналогічні дослідження були проведені під час розвитку аварійної ситуації на одній з ГТС поблизу с. Зайцево. У вересні 2013 року після рясних дощів на дамбі з боку НБ відбувся зсув ґрунтових мас укосу. Видима ширина його становила 12-16 м, об'єм ґрунту – близько 30 м<sup>3</sup>. Для визначення причин зсуву проведені польові спостереження ПЕМПЗ, які показали задовільний, непорушений стан дамби спостерігається в її центральній частині, що характеризується підвищеними значеннями щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ; на ділянках примикання ГТС до бортів балки фіксуються знижені значення ПЕМПЗ, що свідчить про обводнення та фільтрацію, а особливо небезпечною є зона, розташована поруч з водоскидом; у районі зсуву дамба у верхньому і нижньому б'єфах знаходиться в напруженому стані, що вказує на подальший розвиток зсувних процесів і деформації, які можуть посилюватися за рахунок вібрації, зумовленої проїздом по дамбі вантажного транспорту.

Лабораторними дослідженнями відібраних проб ґрунту з тіла ГТС, зсуву і борту балки на правому березі встановлено, що вологість ґрунту в тілі ГТС становить близько 11 %, а в прилеглому ярі – 6,8 %. Отже, водонасичення ґрунтів тіла ГТС майже у 2 рази вище, ніж суглинків у прилеглому борту балки. Узагальнений аналіз результатів досліджень дозволив виявити причини обводнення тіла дамби і встановити механізм формування зсуву. За рахунок нарощення гребеня ГТС з боку верхнього б'єфу (ВБ) була сформована берма, на якій відбувається активний розвиток деревної рослинності, а траншейний водоскид опинився укладеним в тілі греблі. Поступове засмічення та руйнування водоскиду призводить до тимчасового (на випадок дощів або паводків) підвищення рівня води, яка по зонах порушених кореневою системою дерев, активно фільтрується крізь тіло ГТС. Оскільки гребля з'єднує прилеглі сільськогосподарські поля зі зерновим елеватором, то рух великотоннажних автомобілів спричиняє значне навантаження та

динамічні коливання, що створює додатковий тиск і руйнації. Через відсутність організованого відведення дощових вод, у місцях зчленування ГТС з бортом балки відбулося поступове водонасичення товщі підстилаючих порід, що викликало додатковий бічний тиск схилу на тіло дамби. Комплекс перелічених порушень та низький рівень технічної експлуатації ГТС спровокували випирання ґрунтів (зсув).

Натурними дослідженнями встановлено, що переважна більшість інших обстежених ГТС знаходиться в незадовільному технічному стані. Крім порушених ділянок, які можливо встановити візуально, на кожній зі споруд додатково виділяються декілька небезпечних зон, які визначаються за даними інструментальних спостережень.

Руйнування однієї зі споруд може спричинити негативні екологічні наслідки та економічні збитки населеним пунктам, що розташовані нижче за течією кожного зі ставків.

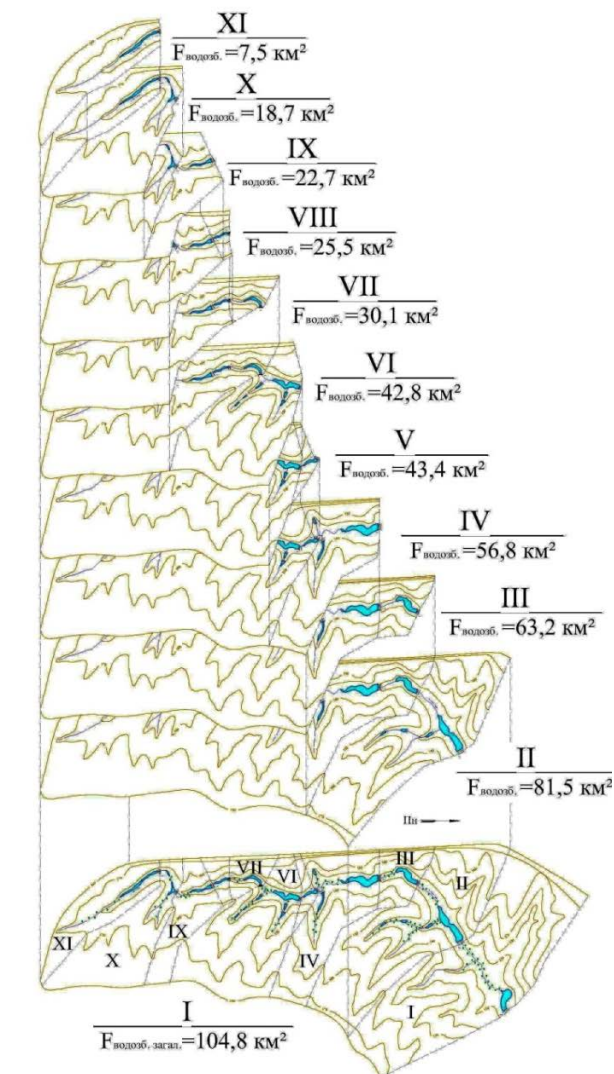
У зв'язку з цим, постає необхідність комплексного оцінювання гідротехнічних об'єктів, розташованих у вигляді каскадів водосховищ на малих річках і водотоках. Для цього необхідно розробити паспорти водойм та ГТС на них, провести гідрологічні та інженерні розрахунки, встановити параметри підвищення рівня води у водосховищах та умови безпечної роботи споруд у випадку надходження великої кількості опадів і можливого прориву верхнього ставу.

Такі заходи можуть стати основою для впровадження системи моніторингу технічного стану та оцінювання безпечної експлуатації дамб.

Запровадження такого підходу здійснено на штучних водоймах, що формують каскад ставків на р. Нижня Терса Синельниківського району Дніпропетровської області.

На підставі карти басейну р. Нижня Терса (рис. 4) визначена загальна площа водозбору від витoku до створу ГТС у с. Циганівка, яка становить  $104,8 \text{ км}^2$ , та для кожної з гідротехнічних споруд встановлені площі водозбору й бічних приточностей. Під час проведення роботи використовувалися картографічні матеріали регіонального проектно-вишукувального інституту «Дніпродіпродгосп».

Результати гідрологічних розрахунків імовірності перевищення максимальних витрат води, визначені для основного і перевірного випадків, показали, що під час пропуску води дощових паводків або у випадку прориву споруд у каскаді можливий перелив води через гребінь ГТС.



**Рис. 4.** Схематична карта басейну р. Нижня Терса з відокремленими водозборами у створах ГТС: чисельник IV – номер площі; знаменник  $F_{\text{водзб.}} = 56,8 \text{ км}^2$  – площа водозбору

На підставі цього проведено оцінювання можливості розташованих у каскаді споруд утримувати раптове надходження додаткових об'ємів води та надана оцінка безпеки їх експлуатації (табл. 1).

**Оцінювання безпечної роботи ГТС у каскаді штучних водойм під час проходження  
максимальних витрат води дощових (зливових) паводків (р. Нижня Терса)**

№ площі водозбору (рис. 4)		XI		X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I	
Клас наслідків за ДБН В.2.4-3:2010		CC1	CC1	CC1	CC1	CC1	CC1	CC1	CC1	CC2-2	CC1	CC1	CC1	
Площа ділянки бічної приточності $F, \text{км}^2$		6,3	1,2	11,2	4,0	2,8	4,6	12,7	0,6	13,4	6,4	18,3	23,3	
Витрата на ділянку бічної приточності $Q, \text{м}^3/\text{с}$	випадок*	основ- ний	8,9	5,4	10,5	7,7	6,9	8,1	10,9	4,4	11,1	8,9	12,2	13,1
		переві- рочний	17,7	10,8	21,1	15,5	13,9	16,1	21,9	8,8	30,0	17,8	32,9	26,2
Об'єм води з площі бічної приточності $W, \text{млн м}^3$	випадок*	основ- ний	0,13	0,02	0,22	0,08	0,06	0,09	0,25	0,01	0,27	0,13	0,37	0,47
		переві- рочний	0,25	0,05	0,45	0,16	0,11	0,18	0,51	0,02	0,72	0,26	0,99	0,93
Об'єм води при НПП $W, \text{млн м}^3$		0,101	0,084	0,132	0,187	0,036	0,165	0,534	0,120	1,050	0,594	0,993	0,674	
Площа водойми при НПП $F, \text{га}$		3,50	3,10	4,40	6,23	1,20	5,50	17,80	4,00	35,00	19,80	48,00	22,47	
Об'єм води, який здатна утримати ГТС $W, \text{млн м}^3$	на відмітці гребеня дамби	0,147	0,123	0,284	0,307	0,043	0,230	0,700	0,129	1,114	0,689	2,286	1,451	
	прорив верх- нього ставу + з площі бічної приточності**	-	+0,003	-0,019	+0,095	-0,191	+0,104	+0,285	-0,414	+0,724	-0,490	+1,322	-0,012	
	наростаючим підсумком***	-	+0,003	-0,019	+0,011	-0,191	-0,083	+0,062	-0,414	+0,190	-0,490	+0,272	-0,012	

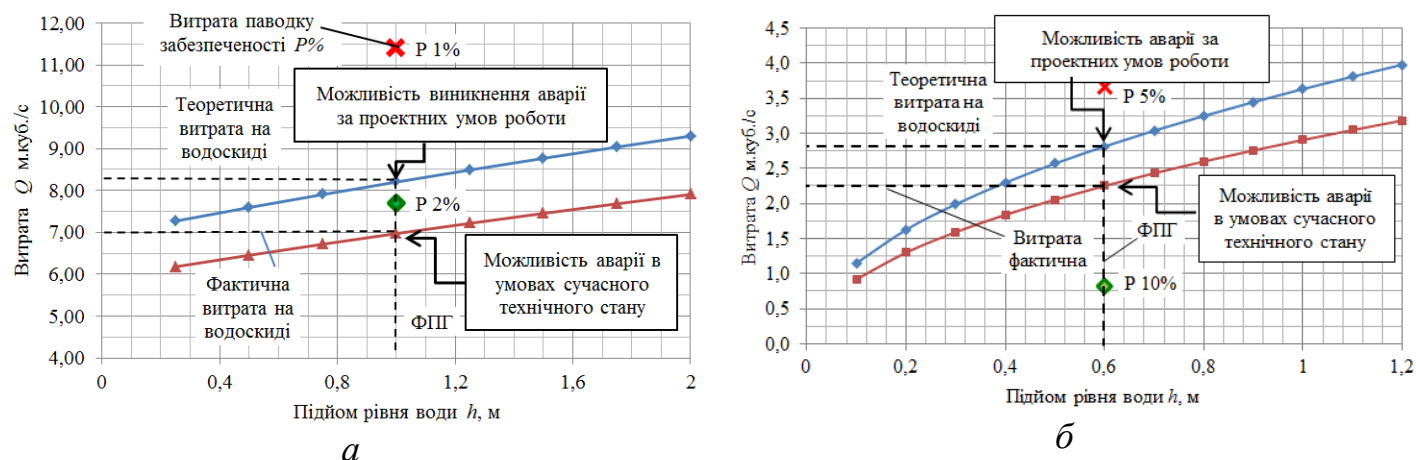
П р и м і т к а: НПП – нормальний підпірний горизонт; \* – для споруд класу наслідків (відповідальності) CC1 основний розрахунковий випадок:  $P=5,0\%$ , перевірочний  $P=1,0\%$ ; CC2-2 – основний  $P=3,0\%$ , перевірочний  $P=0,5\%$ ; \*\* – знак «+» у рядку означає спроможність ГТС утримувати певний об'єм води, що надійде за рахунок прориву верхньої споруди з додаванням об'єму води з площі бічної приточності, у випадку дощового паводку; знак «-» вказує на те, що відбудеться перелив води через гребінь; \*\*\* – знак «+» вказує на розмір залишкової ємності водосховища; знак «-» надлишкова кількість води, яку нездатна акумулювати споруда.

Додатковим чинником небезпеки може слугувати зміна сучасних кліматичних умов, на яку вказують чисельні дослідження (М. І. Ромащенко, А. М. Рокочинський та ін.). Відзначається тенденція до поступового потепління та посушливості, але паралельно відбувається випадіння за короткі терміни часу опадів понад норми, які носять зливовий характер, що також створює небезпеку переливу води через гребені з-за недостатньої пропускну здатності водоскидних пристроїв.

Для забезпечення пропуску надлишкових вод ГТС обладнані скидними пристроями. Оскільки проектна документація частково відсутня або втрачена з плином часу, що вста-

новлено за результатами візуального обстеження, то більшість з них змонтовані господарським способом у вигляді залізобетонних труб або колодязів шахтного типу та мають ряд порушень конструктивних параметрів, а саме: частково зруйновані, засмічені уламками залізобетонних елементів та деревиною, замулені, відсутні сміттєзатримуючі ґрати.

Оцінювання пропускної здатності водоскидів (рис. 5, табл. 2) вказує на невідповідність нормативним вимогам пропуску максимальних витрат та об'ємів паводкових (дощових) вод заданої забезпеченості, які регламентуються ДБН В.2.4-3:2010. У деяких випадках незадовільний технічний стан водоскидів суттєво знижує їх пропуску здатність (рис. 5). Встановлено, що під час проходження паводків вищої забезпеченості існує небезпека підйому рівня води до відміток гребеня дамб і переливу через ГТС, а у випадку руйнування споруд обсяги води, які були закумульовані у верхніх ставках і раптово надійдуть до розташованих нижче, ускладнюють пропуску здатність водоскидів.



**Рис. 5. Оцінювання пропускної спроможності водоскидних пристроїв**

**П р и м і т к а:** а – баштовий водоскид (с. Новоолександрівка); б – трубчастий водоскид (с. Тургенівка); ФПГ – форсований підпірний горизонт;  $P\%$  – забезпеченість; кольором показано: синім (верхні криві) – теоретична, червоним (нижні) – фактична пропуску здатність водоскиду; зеленим кольором  $\blacklozenge$  – можливість пропуску паводкових витрат указаної забезпеченості, червоним  $\times$  – нездатність пропуску паводку вказаної забезпеченості

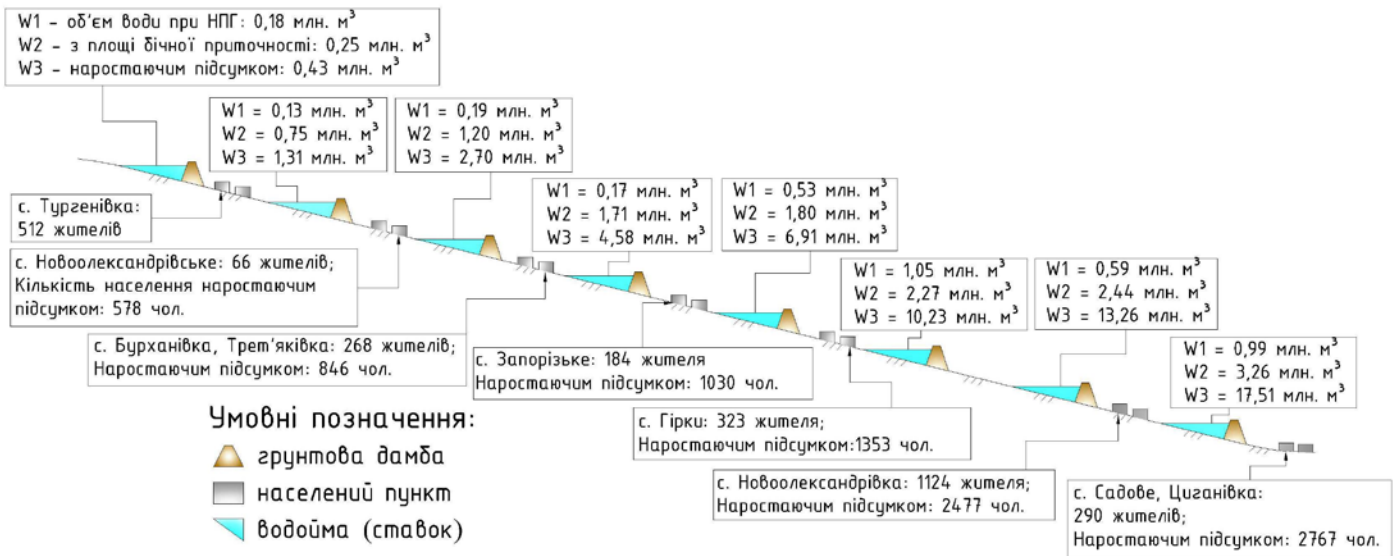
Таблиця 2

**Визначення параметрів пропускної здатності водоскидів на каскаді штучних водойм (р. Нижня Терса)**

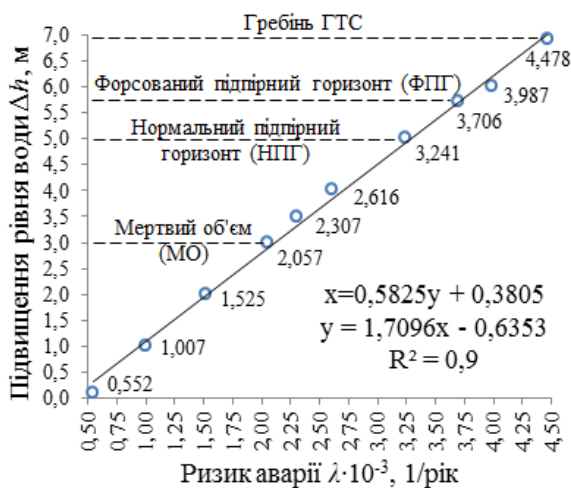
№	Населений пункт, поблизу якого розташована водойма	Клас наслідків (відповідальності) ГТС за ДБН В. 2.4.3:2010	Об'єм води $W$ , тис. $m^3$	Площа водозбору $F$ , $km^2$	Нормативні ймовірності $P, \%$ , перевищення розрахункових максимальних витрат води за основним розрахунковим випадком (перевірочним)	Витрата на водоскиді $Q$ , $m^3/s$ (забезпеченість $P, \%$ )		Відповідність нормативним значенням
						теоретична	фактична	
1	Новоолександрівка	СС1	993	81,5	5 (1)	8,3	7,0 (2)	відповідає
2	Новоолександрівка	СС1	594	63,2	5 (1)	14,2	12,7 (10)	не відповідає
3	Гірки	СС2-2	1050	56,8	3 (0,5)	45,0	45,0 (0,5)	відповідає
4	Запорізьке	СС1	120	43,4	5 (1)	7,0	7,0 (15)	не відповідає
5	Бурханівка	СС1	534	42,8	5 (1)	6,8	5,6 (8)	не відповідає
6	Бурханівка	СС1	165	30,1	5 (1)	1,1	1,1 (20)	не відповідає
7	Третьяківка	СС1	187	22,7	5 (1)	5,8	3,1 (10)	не відповідає
8	Тургенівка	СС1	184	18,7	5 (1)	2,8	2,3 (7)	не відповідає

Узагальнення отриманих результатів досліджень дозволяє оцінити можливий кумулятивний ефект (рис. 6), який полягає в тому, що кожна наступна ГТС буде сприймати об'єми декількох прорваних дамб.

Загальний об'єм води дощових паводків з додаванням об'єму, який утримують водойми, та який може бути вивільнений, сягає близько 17,5 млн м<sup>3</sup>. У зоні потенційної небезпеки підтоплення (затоплення) території та погіршення санітарних умов водокористування можуть опинитися 9 населених пунктів і понад 2,5 тис. жителів.



**Рис. 6. Характеристика параметрів гідродинамічної аварії на дамбах каскаду водойм та населених пунктів р. Нижня Терса з урахуванням кумулятивного ефекту**



**Рис. 7. Приклад графічного представлення ймовірнісного ризику аварії на ГТС унаслідок фільтраційних деформацій**

Додатковим чинником небезпеки руйнування та виникнення гідродинамічної аварії під час підвищення рівня води у верхньому б'єфі є зниження коефіцієнта стійкості низового укосу, який був розрахований із застосуванням стандартного методу круглоциліндричної поверхні ковзання (КЦПК) для двох випадків: рівні води на нормальному та форсованому підпірних горизонтах.

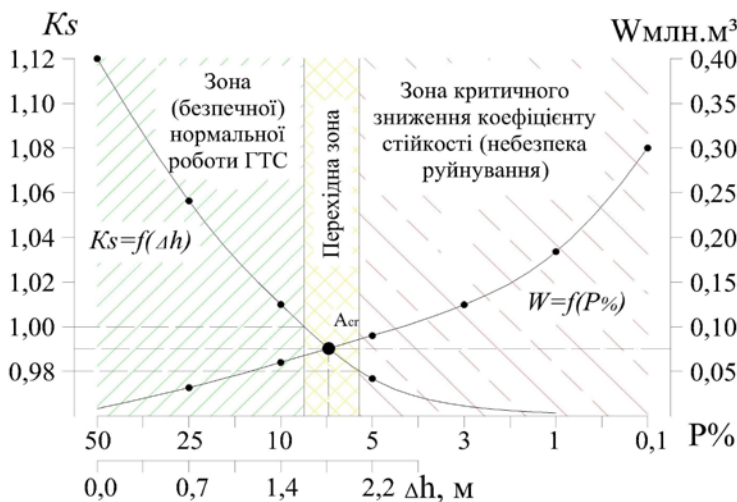
У зв'язку з цим, запропонований графічний спосіб встановлення критичної точки безпечної експлуатації ГТС, реалізація якого представлена на прикладі дамби поблизу селища Циганівка (рис. 8).

Таким чином, на основі гідрологічних розрахунків встановлена можливість перевищення рівнів води над нормальним підпірним горизонтом, що вказує на небезпеку збільшення фільтраційних витрат і напорів води крізь тіло ГТС та руйнування споруд унаслідок фільтраційних деформацій по зонах зосередженої фільтрації і обводнення.

Для визначення ймовірнісного ризику виникнення аварії проведені розрахунки (рис. 7, табл. 3), які вказують про підвищення ризику аварії на 50 % і більше, в разі підйому рівня води від відміток нормального підпірного горизонту (НПГ) до відміток форсованого підпірного горизонту (ФПГ) та гребеня дамб.

**Порівняльна оцінка ризиків виникнення аварії на дамбах каскаду  
внаслідок фільтраційних деформацій**

№ ГТС у каскаді	Допустима ймовірність виникнення аварії, $\lambda \cdot 10^{-3}$	Загальний ризик виникнення аварії на різних рівнях води		Підвищення загального ризику аварії при ФПГ відносно НПГ, %	Загальний ризик виникнення аварії при рівні води на відмітці гребеня дамби, $\lambda \cdot 10^{-3}$	Підвищення загального ризику аварії тіла дамби при рівні води на відмітці гребеня дамби відносно НПГ, %
		НПГ, $\lambda \cdot 10^{-3}$	ФПГ, $\lambda \cdot 10^{-3}$			
1	6,0	3,241	3,708	14,4	4,481	38,2
2	6,0	3,194	3,800	19,0	4,268	33,6
3	3,0	2,486	2,991	20,3	3,977	60,0
4	6,0	2,868	3,654	27,4	4,303	50,0
5	6,0	3,792	4,201	10,8	4,518	19,2
6	6,0	3,735	4,079	9,2	4,264	14,2
7	6,0	3,329	3,756	12,8	4,345	30,5
8	6,0	2,777	3,201	15,3	3,444	24,0



**Рис. 8. Графік для визначення критичної точки коефіцієнта стійкості залежно від забезпеченості та об'ємів води дощових (зливових) паводків:  $P\%$  – забезпеченість;  $K_s$  – коефіцієнт стійкості;  $W$  – об'єм води дощового паводка;  $\Delta h$  – висота підвищення рівня води відносно НПГ**

За рахунок поєднання на одному графіку залежності об'ємів води від забезпеченості  $W=f(P\%)$  та коефіцієнта стійкості споруди від підйому рівня води  $K_s=f(\Delta h)$  запропоновано визначати декілька умовних зон роботи ГТС, які характеризують безпеку експлуатації споруди в умовах пропуску понаднормативних об'ємів води. Точка перетину двох графіків  $A_{cr}$  є критичною для подальшої безпечної експлуатації ГТС, оскільки вона збігається з максимальною відміткою перевищення гребеня дамби над рівнем НПГ.

Графік може бути умовно розділений на декілька зон: зона нормальної роботи ( $K_s > 1$ ), перехідна ( $K_s < 1$ ), зона критичного зниження коефіцієнта стійкості (характеризується

переливом води через гребень, руйнуванням дамби і втратою несучої здатності за рахунок зниження коефіцієнта стійкості укосу). Реалізація даного підходу надає можливість управління каскадом ГТС на стадіях планової експлуатації та оперативного прийняття рішень.

Для реалізації комплексного підходу до оцінювання рівня безпеки під час експлуатації гідротехнічних споруд у каскаді розроблений спосіб, в основу якого покладені експертні оцінки за різними категоріями (показниками), що можуть характеризувати умови роботи та технічний стан ГТС. Запропоновано здійснювати оцінювання за двома групами показників: *I група* – безпосередньо характеризує рівень технічної експлуатації ГТС, що не відповідає умовам їх безпечної роботи; *II група* – опосередковано характеризує можливі ризики та рівень небезпеки внаслідок гідродинамічних аварій на ГТС.



Оцінювання технічного стану ГТС (*I група*) охоплює візуальні обстеження, інструментальні дослідження та теоретичні розрахунки. Під час аналізу можливих ризиків та загроз внаслідок гідродинамічної аварії на ГТС (*II група*) застосовують паспортні (проектні) дані та аналітичні розрахунки можливих площ затоплення, руйнувань, завданих збитків тощо.

Усі показники та параметри *II групи* мають відповідну вагу балів від 1 до 4, що є найбільш застосованим за вітчизняним і міжнародним досвідом та широко представленим в літературних джерелах і нормативних документах під час оцінювання можливих збитків від гідродинамічних аварій на гідровузлах. Найнижча оцінка відповідає мінімальному рівню небезпеки, а найвища – максимальному.

Для більшої варіабельності відповідей за *I групою* показників загальна кількість балів збільшена з чотирьох до восьми. Проміжними балами виступають 1, 3, 5 і 7. Це пов'язано з тим, що за одночасного оцінювання декількох ГТС споруди можуть мати однакові (типові) недоліки технічного стану, але проявлені в різній мірі, що надає можливість використовувати проміжні бали та об'єктивно оцінити ступінь порушень і недоліки технічного стану об'єктів.

Оцінку рівня небезпеки «*R*» та невідповідності технічного стану «*ТС*» запропоновано виражати у відсотках за інтегральною формулою

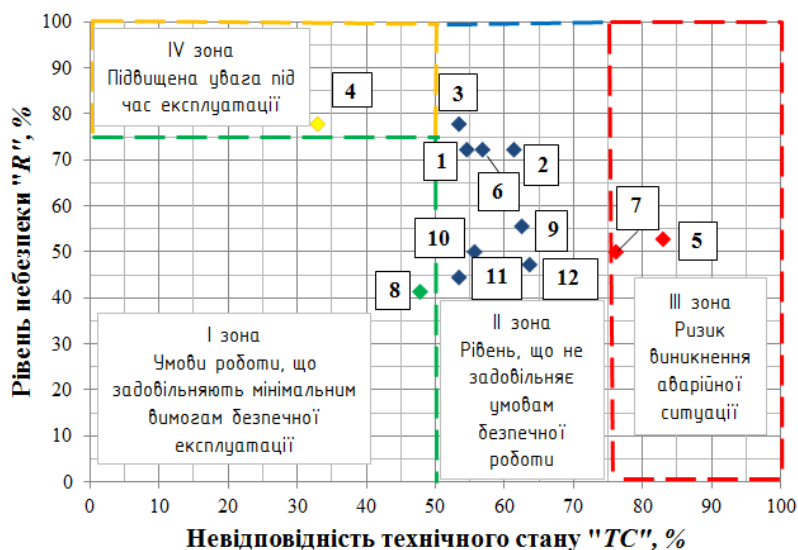
$$R(ТС) = \frac{I}{N_{\max} \cdot k} \cdot \sum_{i=1}^n N_i \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $N_i$  – бал  $i$ -го показника оцінки;  $N_{\max}$  – максимальний можливий бал;  $n$  – загальна кількість показників;  $k$  – кількість показників, за якими здійснюється оцінювання.

Для ефективного управління на основі середньо- та довготермінових прогнозних рішень і планового покращення технічного стану ГТС на прикладі каскаду водойм р. Нижня Терса представлена реалізація запропонованої методики розподілу споруд за рівнем технічного стану і небезпеки експлуатації (рис. 9).

Встановлено, що з 12 споруд 2 знаходяться в зоні ризику виникнення аварії; технічний стан та безпека восьми має понижений рівень; 1 гребля – відповідає мінімальним вимогам безпеки; ще 1 – знаходиться в зоні безпечної роботи, але потребує підвищеної уваги під час експлуатації.

Таким чином, своєчасні діагностичні обстеження технічного стану споруд, упровадження розробленого підходу до оцінювання безпеки експлуатації дамб каскаду на малих річках, а також розробка паспортів ГТС і водних об'єктів з визначенням інженерно-гідрологічних характеристик і показників безпечної роботи, прогнозування зміни технічного стану ГТС у часі, надає можливість приймати ефективні управлінські рішення на підставі оперативних та довготермінових прогнозів, встановлювати рівень пріоритетнос-



**Рис. 9. Розподіл ГТС у каскаді за небезпекою експлуатації ( $R$ ) та невідповідності технічного стану ( $ТС$ ): номери відповідають порядку розташування дамб у каскаді**

ті під час надходження коштів на капітальні та поточні ремонти, що підвищує безпеку експлуатації ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення.

У четвертому розділі *«Еколого-економічна ефективність підвищення експлуатаційної безпеки ґрунтових гідротехнічних споруд»* розглянуті основні способи та методи ремонтно-відновлювальних робіт та передовий досвід інженерно-технічних підходів щодо організації безпечної експлуатації ГТС водогосподарського призначення. Під час ремонту та реконструкції низьконапірних споруд на річках і водотоках запропоновані різні способи відсіпки гребеня та укосів до проектних відміток, а також замонолічення тріщин. Підвищення рівня безпечної експлуатації ГТС високого класу наслідків ґрунтується на порівнянні техніко-економічних показників проведення будівельно-монтажних робіт.

На прикладі ґрунтової греблі Вільногірського ГМК визначено, що відсіпка низового укосу та його привантаження для надання більшої стійкості споруді за вартістю, розрахованою у програмному комплексі «АВК», сягає 11 млн грн. Альтернативою такому методу запропоновано влаштування в тілі споруди протифільтраційної завіси методом ін'єктування глиноцементного або іншого виду розчину, що створить в тілі ГТС ядро, міцнісні та фільтраційні характеристики якого вищі, ніж у ґрунтів тіла споруди. Зменшення фільтраційних втрат дає змогу понизити рівень кривої депресії та підвищити стійкість низового укосу, а зменшення порового тиску знизить небезпеку утворення зсувних зон і ділянок різнонапруженого стану.

Обґрунтовано, що технологія ін'єктування потребує значно менших витрат матеріалів і засобів виробництва, а використання сучасних матеріалів і організаційно-технічних рішень зробить даний спосіб більш технологічно якіснішим і перспективнішим у застосуванні, ніж відсіпка ґрунтом і гірничою масою. За розрахунками кошторисна вартість улаштування протифільтраційної завіси сягає близько 9 млн грн.

На прикладі каскаду водойм на р. Нижня Терса виконана оцінка економічної ефективності впровадження результатів досліджень у складі комплексного підходу до забезпечення безпечної експлуатації ГТС та попередження аварійних ситуацій.

Встановлено, що від гідродинамічної аварії, спричиненої наслідками надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, завдані можливі збитки у вигляді пошкодження сільськогосподарських угідь, пасовищ, сіножатей, будівель, комунікацій, втрати рибного господарства, сягатимуть близько 12 млн грн, або у питомому відношенні – 0,68 грн на 1 м<sup>3</sup> вивільненої води.

## ВИСНОВКИ

1. У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичної задачі з підвищення експлуатаційної безпеки ґрунтових гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного призначення.

2. Обґрунтовано та визначено сукупність чинників природного і техногенного характеру (паводки, зосереджена фільтрація, суфозія, розущільнення, утворення тріщин тощо), які впливають на безпеку експлуатації ґрунтових ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення та спричиняють розвиток аварійних ситуацій у понад 65 % від загальної кількості аварій.

3. Науково обґрунтовано підходи до удосконалення методів і засобів технічної діагностики ґрунтових ГТС шляхом застосування геофізичного методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) для виявлення на ранніх стадіях формування та розвитку зосередженої фільтрації води, зон розущільнення, утворення тріщин, встановлення параметрів порушених ділянок, які не мають зовнішніх проявів та не фік-

суються закладною контрольно-вимірювальною апаратурою. Встановлено, що застосування методу ПЕМПЗ дозволяє провести польові дослідження на гребені споруди площею в 4 тис. м<sup>2</sup>, побудувати карти-схеми та інтерпретувати отримані результати з винесенням порушених ділянок технічного стану в натуру протягом 5 годин, що підтверджує його достатню оперативність та інформативність порівняно з відомими дистанційними методами, які застосовуються для технічної діагностики

4. Науково обґрунтовано підхід до визначення параметрів зміни коефіцієнта стійкості низового укосу споруди внаслідок раптового надходження максимальних об'ємів води дощових паводків або у випадку руйнування розташованих вище за течією дамб, уперше введено, як критерій оцінювання, параметр критичної точки ( $A_{cr}$ ) безпечної експлуатації ґрунтових ГТС, який дозволяє приймати ефективні управлінські рішення на основі оперативних та довготермінових прогнозних умов безпечної роботи споруди у часі.

5. Визначено експлуатаційну безпеку ґрунтових ГТС, розташованих у каскаді та показана невідповідність існуючим нормам пропуску максимальних витрат води дощових паводків щорічною ймовірністю перевищення  $P=0,5 - 1,0 \%$ , що зумовлено низьким рівнем технічної експлуатації. Встановлено, що водоскидні пристрої можуть пропускати максимальні витрати забезпеченістю від  $P=2$  до  $15 \%$ , потребують поліпшення їх технічного стану або проектування резервних водоскидів.

6. Визначена ймовірність ризику виникнення аварії на ґрунтових ГТС внаслідок фільтраційних деформацій, розташованих у каскаді штучних водних об'єктів доводить, що загальний ризик на відмітці рівня води при НПР змінюється в межах  $\lambda=(2,8-3,8) \cdot 10^{-3}$ ; при ФПР  $\lambda=(3,2-4,2) \cdot 10^{-3}$ ; при підвищенні рівня води до відміток гребеня греблі  $\lambda=(3,4-4,7) \cdot 10^{-3}$ . Отримані параметри не перевищують допустимих нормативних значень, але у відсотковому відношенні ризик виникнення аварії зростає на 50 % і більше, що з урахуванням виявлених небезпечних прихованих ділянок зосередженої фільтрації суттєво впливає на подальшу безпечну експлуатацію ГТС.

7. Встановлена еколого-економічна ефективність запровадження результатів досліджень та заходів щодо попередження гідродинамічних аварій на прикладі каскаду водойм р. Нижня Терса. Визначено, що в зону потенційного ураження потрапляє 8 населених пунктів та близько 2,5 тис. людей. Витрати в грошовому еквіваленті становитимуть понад 12 млн грн., або 0,68 грн на 1 м<sup>3</sup> вивільненої води.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для ефективного управління, на підставі середньо- та довготермінових прогнозних рішень і планового покращення технічного стану ГТС, запровадження моніторингу та прогнозування зміни технічного стану ГТС у часі, створення умов безпечної роботи споруд у процесі експлуатації, рекомендується застосовувати не лише відомі (класичні) методи технічної діагностики, а й використовувати дистанційний геофізичний метод ПЕМПЗ, що дозволяє виявити ділянки зосередженої фільтрації, обводнення, зони напруженого стану, формування тріщин відриву тощо, які не можливо встановити візуально, за даними геодезичних вимірювань або закладної контрольно-вимірювальної апаратури.

2. Розробка паспортів водних об'єктів повинна включати інженерні розрахунки не лише на основі гідрологічних характеристик, а й показників безпечної роботи ГТС, особливо тих, які формують каскади штучних водойм. У випадку невідповідності державним регламентованим нормам параметрів стійкості та безпечної роботи ГТС і водоскидних пристроїв на пропуск максимальних витрат води дощових паводків передбачати в сучасних умовах експлуатації нарощування висоти споруди або облаштування додаткових водоскидів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у фахових виданнях*

1. Оцінка міцнісних властивостей ґрунтових дамб методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі / О. В. Орлінська, Д. С. Пікареня, Н. М. Максимова, **Г. В. Гапич**, В. М. Іщенко // Зб. наук. праць НГУ. – 2012. – № 37. – С. 17–23. (*Особистий внесок – виконано діагностичні обстеження ГТС, побудовано карти – схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ*).

2. **Гапич Г.В.** Оценка технического состояния грунтовых плотин как элемента системы экологического мониторинга территорий/ Г.В. Гапич// Сб.н.т. НГУ.– 2013.– №42. – С.168–173.

3. Застосування комплексу геофізичних методів для зниження екологічного впливу штучних водних об'єктів на довкілля (на прикладі регулюючих водних басейнів) / Д. С. Пікареня, О. В. Орлінська, **Г. В. Гапич**, Д. А. Соломончук // Зб. наук. пр. ДДТУ.– 2013.– № 3 (23) – С. 143–148. (*Особистий внесок – проведено польові дослідження методом ПЕМПЗ, визначено ділянки підвищеної фільтрації води з регулюючих басейнів*).

4. Исследование хранилищ отходов переработки радиоактивных руд методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли в Днепродзержинске / Д. С. Пикареня, О. В. Орлинская, Ю. Н. Сорока, А. И. Молчанов, **Г. В. Гапич** // Сб. науч. трудов НГУ. – 2013. – № 43. – С.123–128. (*Особистий внесок – проведено польові дослідження геофізичним методом ПЕМПЗ, побудовано та проаналізовано карти-схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ*).

5. **Гапич Г. В.** Визначення коефіцієнта стійкості низового укусу ґрунтової дамби на основі гідрологічних розрахунків / Г. В. Гапич // Зб. наук. пр. НГУ.– 2015.– № 49.– С.239–245.

6. **Гапич Г. В.** Оцінка безпеки експлуатації гідротехнічних споруд на малих річках, під час проходження дощових (зливових) паводків / Г. В. Гапич // Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки». – 2016. Вип. 3 (75). – С. 98–104.

*Статті у виданнях, внесених до міжнародних наукометричних баз*

7. Пікареня Д. С. Визначення зон фільтрації води з регулюючих басейнів зрошувальних мереж для запобігання підтоплення території / Д. С. Пікареня, О. В. Орлінська, **Г. В. Гапич** // Вісник КрНУ ім. Остроградського. – 2013. – Вип. 6 (83). – С. 125–129. (*Особистий внесок – виконано діагностичні обстеження ГТС комплексом геофізичних методів, визначені ділянки зосередженої фільтрації води*).

8. Обследование грунтовых дамб малых рек для предотвращения экологических аварий / Д. С. Пикареня, О. В. Орлинская, **Г. В. Гапич**, В. А. Твердохлеб, И. С. Данильченко // Экология центрально-черноземной области РФ. – Липецк (научно-технический журнал: ЛЭГИ, 2013. – С. 135–138. (*Особистий внесок – виконано польові дослідження на ґрунтових ГТС, побудовано карти схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ та опрацьовано їх результати, визначено ділянки зосередженої фільтрації води та небезпечних інженерно-геологічних процесів*).

9. Рудаков Л. М. Технічний стан гідротехнічних споруд на р. Нижня Терса / Л. М. Рудаков, **Г. В. Гапич** // Вісник ДДАЕУ. – 2016. №2 (40) – С. 47–51. (*Особистий внесок – проведено візуальну діагностику ґрунтових ГТС та виконано оцінювання їх технічного стану*).

*Тези доповідей*

10. Оперативная диагностика технического состояния грунтовых дамб с использованием метода ЕИЭМПЗ / О. В. Орлинская, Д. С. Пикареня, **Г. В. Гапич**, И. В. Чушкина, И. В. Пятница // Роль меліорації та водного господарства в забезпеченні сталого розвитку землеробства: матер. II наук.-практ. конф. молодих учених. (м. Київ, 3 грудня 2014 р.), Інститут водних проблем і меліорації НААН. – К.: ІВПіМ. – 2014. – С. 26–29.

11. **Гапіч Г. В.** Надійність та безпека експлуатації гідротехнічних споруд водогосподарського комплексу / Г. В. Гапіч // Управління водними ресурсами в умовах зміни клімату: Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Київ, 21 березня 2017 р.). – К.: ІВПіМ. – 2017. – С.59–60.

#### **Патент**

12. Пат. 90731 Україна, МПК G01V 3/00 / Спосіб встановлення зон підвищеної фільтрації ґрунтових дамб (гребель) / Пікареня Д. С., Орлінська О. В., **Гапіч Г. В.**, Данильченко І. С. U 2013 14976; заяв. 20.12.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11.

### **АНОТАЦІЯ**

**Гапіч Г.В.** Підвищення експлуатаційної безпеки ґрунтових гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного призначення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 06.01.02 – сільськогосподарські меліорації (технічні науки).

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичного завдання щодо підвищення експлуатаційної безпеки ґрунтових гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного призначення.

Показано, що переважаюча більшість аварій та відмов у роботі ґрунтових ГТС відбуваються внаслідок значного зносу, низького рівня технічного стану та фільтрації води, які не завжди мають зовнішні прояви, а тому не діагностуються під час візуальних спостережень або за даними закладної контрольно-вимірювальної апаратури.

Експериментально доведено та обґрунтовано можливість і доцільність застосування геофізичного методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) для визначення зон фільтрації, розушільнення та утворення тріщин.

Обґрунтовано необхідність та удосконалено існуючі підходи щодо оцінювання рівня безпечної експлуатації ґрунтових ГТС. Встановлено, що більшість водоскидів на ГТС не здатні пропускати максимальні об'єми паводкових вод, внаслідок чого підвищуються імовірнісні ризики аварій, фільтраційних деформацій і переливу води через гребень споруди.

Визначено еколого-економічну ефективність запровадження результатів досліджень та заходів щодо підвищення експлуатаційної безпеки ґрунтових ГТС на прикладі каскаду водойм р. Нижня Терса. Встановлено, що попередження гідродинамічної аварії дозволить запобігти збиткам у понад 12 млн. грн. або 0,68 грн. на 1 м<sup>3</sup> вивільненої води.

**Ключові слова:** експлуатаційна безпека, ґрунтова гідротехнічна споруда, технічна діагностика, фільтрація, каскад, річка.

### **АННОТАЦИЯ**

**Гапич Г.В.** Повышение эксплуатационной безопасности грунтовых гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного назначения. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 06.01.02 – сельскохозяйственные мелиорации (технические науки).

В диссертации наведено теоретическое обобщение и новое решение научно-практической задачи по повышению эксплуатационной безопасности грунтовых гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного назначения.

Показано, что большинство аварий и отказов грунтовых ГТС происходит вследствие их значительного износа, низкого уровня технической эксплуатации и фильтрации

воды, что не всегда имеет внешнее проявление, а поэтому не диагностируется во время визуальных осмотров или по данным закладной контрольно-измерительной аппаратуры.

Для определения зон фильтрации, разуплотнения и трещин, обоснована и экспериментально доказана возможность и рациональность использования геофизического метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ).

Обоснована необходимость и усовершенствованы существующие подходы к определению уровня безопасности грунтовых ГТС. Расчет пропускной способности водосбросов показал, что большинство из них не способны пропускать максимальные объемы паводковых вод, что повышает вероятность риска аварий, фильтрационных деформаций и перелива воды через гребень ГТС.

Расчет эколого-экономической эффективности внедрения результатов исследований и мероприятий по повышению эксплуатационной безопасности грунтовых ГТС на примере каскада сооружений на р. Нижняя Терса показал, что предотвращение гидродинамической аварии позволяет избежать ущерб в размере 12 млн. гривен или 0,68 гривен на 1 м<sup>3</sup> высвобожденной воды.

**Ключевые слова:** эксплуатационная безопасность, гидротехническое сооружение из грунтовых материалов, техническая диагностика, фильтрация, каскад, река.

## SUMMARY

***Hapich H.V. Increase of operational safety of ground hydraulic engineering constructions of water-reclamation purpose. – Qualification scientific work as a manuscript.***

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 06.01.02 – agricultural reclamation (technical sciences).

The thesis provides theoretical generalization and new solution of scientific and practical tasks to improve operational safety of ground hydraulic engineering constructions of water-reclamation purpose.

It is shown that the vast majority of accidents and outages on the ground hydraulic engineering constructions are the result of significant wear, low maintenance status and filtering water, which do not always have outward manifestations, and therefore not diagnosed during visual observations or data fill control devices.

It was experimentally proved and substantiated the possibility and feasibility of geophysical methods of natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NPEMF).

The necessity and improvement of existing approaches to the determination of the safety level of groundwater hydraulic engineering constructions are substantiated. The calculation of the discharge capacity of spillways showed that most of them are not able to pass the maximum volumes of flood waters, which increases the likelihood of accident risk, filtration deformations and water overflow through the crest of hydraulic engineering constructions.

Calculation of the ecological and economic efficiency of the implementation of research results and measures to improve the operational safety of ground-based GTS by the example of a cascade of structures of river Nyzhnya Torsa showed that the prevention of a hydrodynamic accident avoids damage in the amount of 12 million UAH or 0.68 UAH per 1 m<sup>3</sup> of released water.

**Key words:** operational safety, hydraulic engineering construction made of ground materials, technical diagnostics, filtration, cascade, river.