

якщо врахувати, що у відносно сприятливі за природним зволоженням роки отримують достатньо високі врожаї практично всіх культур. Щодо інформації про врожайність в аномальні роки, про частоту і ступінь впливу нестачі ґрунтової вологи на врожайність, то це у розглянутій вище схемі враховується шляхом оцінки типу умов зволоження. Адже саме посуха нерідко є катастрофічним явищем при вирощуванні сільськогосподарської культури, і, напевно, найкращим захистом буде вибір таких планів водокористування, які б урахували повторення посух у майбутньому. Тому оцінка впливу дефіциту ґрунтової вологи на врожайність сільськогосподарських культур, що включає в себе виявлення та ймовірнісну інтерпретацію втрат врожаю від конкретного типу природного зволоження території, повинна слугувати основою при формуванні планів водокористування на зрошуваних землях і спеціалізації сільськогосподарського виробництва.

Надалі, маючи інформаційне забезпечення на наступний сезон, складають якіс-

ний прогноз запасів ґрунтової вологи і визначають сценарій водокористування – вологий, середній, середньосухий або сухий.

Отже, запропонована модель нормованого екологічно безпечного водокористування може бути успішно використаною для розробки автоматизованих систем управління вологістю ґрунту під посівами сільськогосподарських культур, а також при обслуговуванні зрошувального і незрошувального землеробства. Застосування цієї моделі надасть можливість скоротити витрати матеріальних і водних ресурсів, покращити організацію поливу і скоротити скидання води. За сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур модель, що пропонується, дозволить планувати не лише проведення чергових поливів, а й склад сільськогосподарських культур на зрошуваних землях, оцінити доцільність водовикористання зі зміною кліматичних умов, передбачати агротехнічні прийоми з покращення вологозабезпеченості посівів (пропольовання, міжрядний обробіток ґрунту) тощо.

4.6.3. Оцінка рівня технічної експлуатації ґрунтових гідротехнічних споруд

О.В. Орлінська, Д.С. Пікареня, Г.В. Галіч

Геофізичні методи досліджень технічного стану ґрунтових гідротехнічних споруд. Ґрунтові гідротехнічні споруди (ГТС) водогосподарсько-меліоративного призначення в переважній більшості були побудовані в середині минулого сторіччя та належать до класу наслідків (відповідальності) СС1 (Щедрин *и др.*, 2004; Гідротехнічні споруди, 2008; Поташиник, Карамушка, 2008; Щедрин *и др.*, 2011; Бондар *и др.*, 2014; Галіч, 2014). 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 із внутрішньою ерозією, зсувами укосів та фільтраційними деформаціями. Майже всі ГТС старої побудови потребують ремонтно-відновлювальних робіт. Одночасно зробити це неможливо, тому є необхідним 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 тру-

домістки 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.

На основі статистичних даних встановлено, що найбільш негативними процесами, які відбуваються в тілі ГТС та її фундаменти, є зосереджена фільтрація води, утворення внутрішніх тріщин та розуцільнення ґрунтових мас, а також недостатня спроможність водоскидних пристроїв на пропуск максимальних обсягів паводкових та дощових (зливових) вод.

Крім того, на безпеку експлуатації діючих ґрунтових ГТС впливають тривалий термін експлуатації, низька інженерно-технічна якість їх побудови без належної проєктної документації, недостатність моніторингу і діагностики технічного стану дамб через дорожнечу цих заходів та трудоємність 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 гідруузли, мають досить складний математичний апарат розрахунків, потребують значних витрат коштів та часу в їх застосуванні, використання спеціальних комп'ютерних програмних комплексів для опрацювання результатів (Воронков *и др.*, 2004; Воронков *и др.*, 2007; Воронков, Моторин, 2008; Ляпичев, 2008; Пикареня, Орлинская, 2009; Косиченко *и др.*, 2012; Патент України..., 2015 та ін.).

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 1 до 50 га, глибина близько 2–4 м. Об'єми акумульованої води не перевищують 1 млн м³. Споруди складені із 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 щодо переважної більшості дамб і гребель, збудованих на водотоках степової зони країни, оскільки мають спільні умови роботи, конструктивні параметри, способи та технологію будування, побудовані з ґрунтових матеріалів і експлуатуються значний термін часу, що підтверджує високу репрезентативність проведених досліджень.

Для встановлення технічного стану ГТС сільськогосподарського призначення використовувався досить дешевий геофізичний метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі, яке є одним із природних геофізичних полів 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 електро-

магнітного випромінювання (ЕМВ) різко знижується. Вважається, що енергія ЕМВ розсіюється в газі або поглинається рідиною. Оскільки гідротехнічні споруди складені ґрунтовими кристалічними матеріалами, то для поля ПЕМПЗ вони є «прозорими», але в разі появи тріщин чи замочування ґрунтів усередині інтенсивність поля різко знижується. Відбувається зниження 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 величину щільності потоку імпульсів покладено в основу інтерпретації досліджень ПЕМПЗ.

Дослідження ПЕМПЗ виконували за загальноприйнятими методиками проведення геофізичних робіт, оптимальними для яких є квадратна мережа спостережень (*Пикареня, Орлінська, 2009*). Під час польових робіт на дамбах враховували 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, в кількості не менше п'яти. Вимірювання щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ проводили приладом «СІМЕІЗ» у точках на профілях з кроком 2–5 м у 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 по-

чаткових 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 використанням відомих індикаторів зон розущільнення і тріщинуватості в геофізичних полях, для яких характерними є лінійні та ступінчасті аномалії тощо.

З урахуванням зазначених 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.

Дослідження технічного стану гребель із застосуванням методу ПЕМПЗ проведено на 16 типових гідротехнічних спорудах на малих річках та хвостосховищах (*Орлінська та ін., 2012; Пикареня та ін., 2013а, Пикареня та ін., 2013б; Ганіч, 2015, 2016*).

Ґрунтова гребля хвостосховища розташована в балці Скажена Вільногірського ГМК. Позначка 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 м³. Останнє нарощення висоти ГТС у 2010 році призвело до водонасичення низового укосу та поступового підйому рівня води в тілі споруди (рис. 4.5), про що свідчать дані спостережень за п'єзометрами протягом 2007–2011 рр.

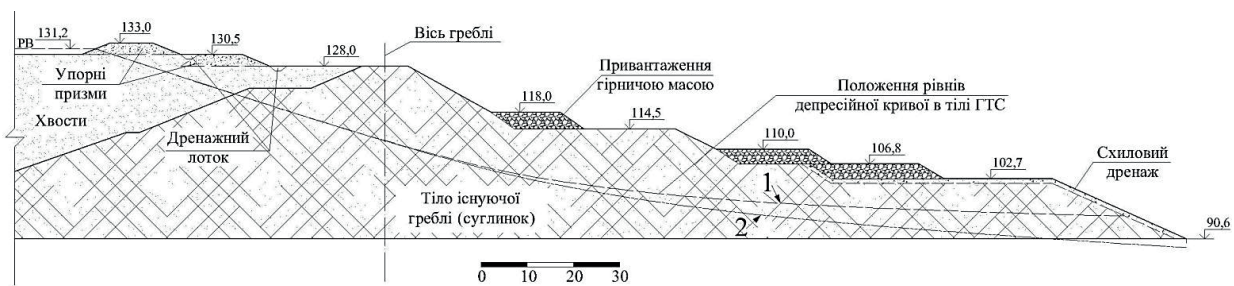


Рис. 4.5. Динаміка зміни кривої депресії в тілі греблі ВГМК:

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 було зосереджено на бермах з абсолютними позначками 133,0; 130,5 і 128,0 м. На гребені і бермах через 5 м було розбито профілі, а через 3 м – точки спостережень. За даними зйомки побудовано карти-схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ

з виділенням зон розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів (рис. 4.6).

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.

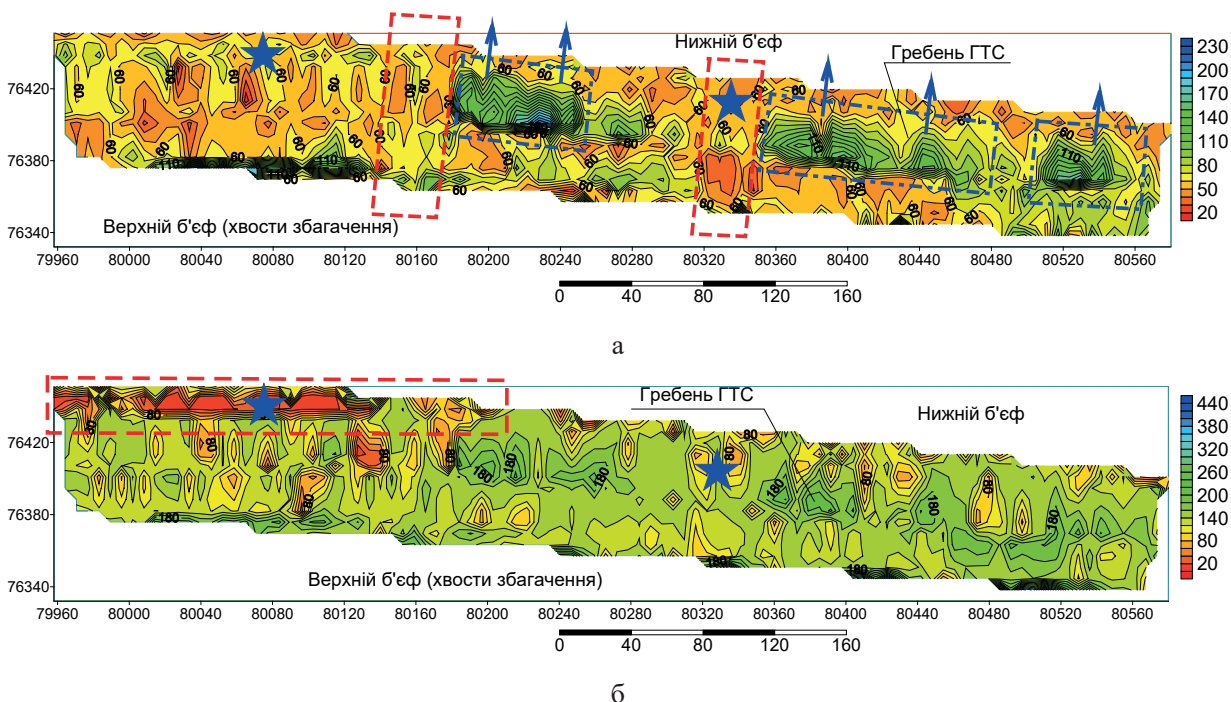


Рис. 4.6. Карти-схеми щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ на греблі ВГМК:

а – за антеною, зорієнтованою поперек греблі; б – за антеною, зорієнтованою вздовж греблі. Підписи по осях абсцис і ординат – відстані, м; 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 напрямок сповзання; зірочка – візуально зафіксовані ділянки розвитку очеретяної рослинності

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.

Спираючись на загальноприйняті методи та результати комплексного аналізу отриманих даних, визначено інтегральний показник ризику аварії $R_a = 0,215$, який характеризує технічний стан ГТС пониженим 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'езометрів указують на підвищення рівня кривої депресії у центральній частині тіла ГТС, що відповідає дослідженням ПЕМПЗ (рис. 4.6, координати по осі абсцис: 80320–80360). Крім того, за даними геофізичної зйомки встановлені потенційні ділянки формування зсувів, які не мають зовнішніх проявів, що доводить до-

цільність 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.

Ефективність впровадження даного підходу представлено на прикладі ґрунтової дамби на ставку Старовишневецьке. На ГТС виконано візуальні діагностичні обстеження та польові дослідження методом ПЕМПЗ за викладеною методикою (рис. 4.7).

Інтерпретація карти-схеми та аналіз результатів досліджень дозволили встановити, що в тілі дамби, крім порушених частин, які фіксуються візуально (рис. 4.7, № 1, 2), встановлено декілька зон локальної фільтрації та водонасичення ґрунтів тіла ГТС (рис. 4.7, № 3, 4). До того ж дослідження методом ПЕМПЗ чітко зафіксували ділянку розмиву верхньої частини гребеня дамби (рис. 4.7, № 5), яка характеризується розмивом верхнього укосу споруди та виходом фільтраційного потоку з боку нижнього б'єфу (НБ) у вигляді зосередженого потоку води.

Аналогічні дослідження було проведено 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.

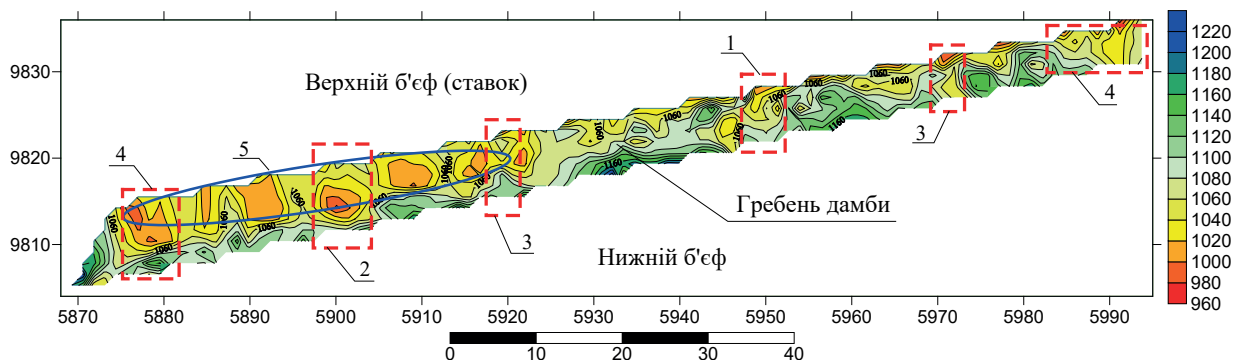


Рис. 4.7. Карта-схема щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ на греблі ставка Старовишневецьке. Система координат – умовна, в метрах; вісь Y спрямована на північ, вісь X – на схід; градаційна кольорова шкала характеризує щільність потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ. Червоними прямокутниками з номерами позначено зони розривних порушень та розуцільнення ґрунту (пояснення в тексті); синя лінія – зона розмиву верхньої частини гребеня дамби

Видима ширина його становила 12–16 м, об'єм ґрунту – близько 30 м³. Для визначення причин зсуву проведено польові спостереження ПЕМПЗ, які показали задовільний, непопорушений стан дамби, що спостерігається в її центральній частині і характеризується підвищеними значеннями щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ; на ділянках примикання ГТС до бортів балки зафіксовано 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 у 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 із 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).

Оцінювання безпеки експлуатації діючих ґрунтових гідротехнічних споруд. Нашими дослідженнями встановлено, що переважна більшість інших обстежених ГТС у Дніпропетровській області знаходиться в незадовільному технічному стані. Крім порушених ділянок, які встановлюються візуально, на кожній зі споруд додатково виявлено декілька небезпечних зон, які визначаються за даними інструментальних спостережень (Орлінська та ін., 2012; Ганіч, 2015, 2016; Рудаков, Ганіч, 2016 та інші).

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. 4.8) визначено загальну площу водозбору від витоку до створу ГТС у с. Циганівка, яка становить 104,8 км², та для кожної з гідротехнічних споруд встановлено площі водозбору й бічних приточностей.

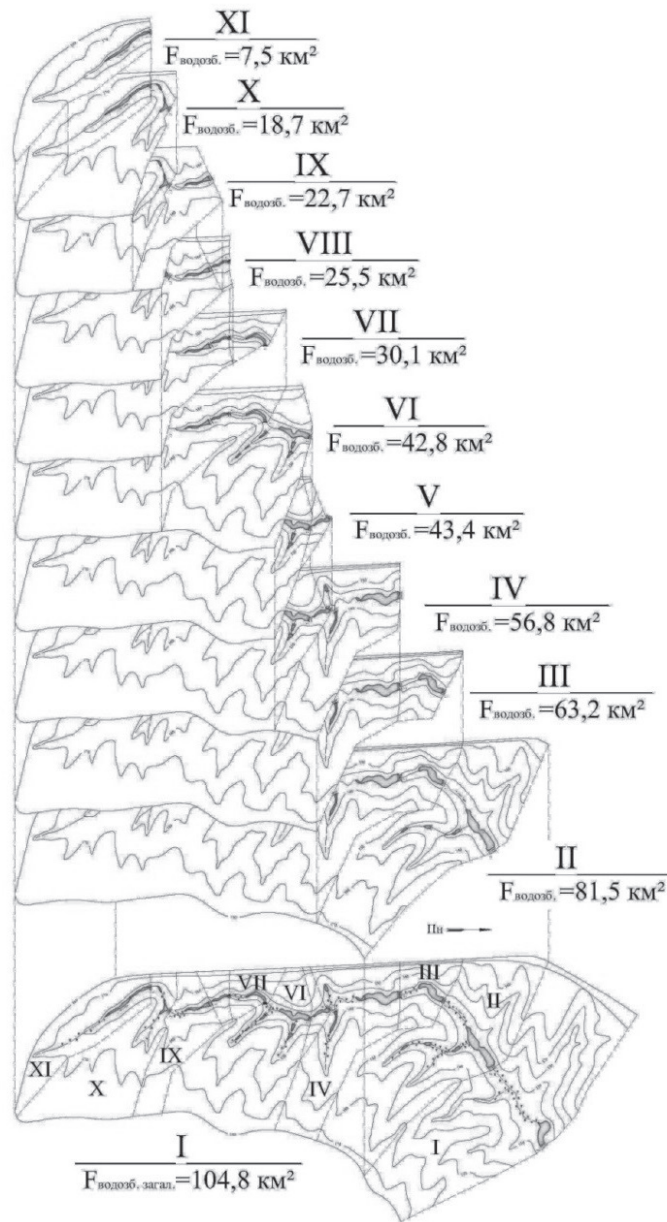


Рис. 4.8. Схематична карта басейну р. Нижня Терса з відокремленими водозборами у створах ГТС: над рискою IV – номер площі; під рискою $F_{\text{водзб.}} = 56,8 \text{ км}^2$ – площа водозбору

Під час проведення роботи використовували картографічні матеріали регіонального проектно-розвідувального інституту «Дніпродіпроводгосп».

Результати гідрологічних розрахунків імовірності перевищення максимальних витрат води, визначені для основного і перевірочного випадків, показали, що під час про-

пуску води дощових паводків або у випадку прориву споруд у каскаді можливий перелив води через гребінь ГТС.

На підставі цього проведено оцінювання можливості розташованих у каскаді споруд утримувати раптове надходження додаткових об'ємів води та надано оцінку безпеки їх експлуатації (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

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

№ площі водозбору (рис. 4.8)	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 , 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		
Виграга на ділянці бічної приточності Q , м ³ /с	основний		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 , млн м ³	основний		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 , 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 , 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 , млн м ³	на відмітці гребіння 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 верхнього 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	

Примітка.

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 паводка; знак «-» вказує на те, що відбудеться перелив води через гребінь;

*** – знак «+» вказує на розмір залишкової ємності водосховища; знак «-» – надлишкова кількість води, яку не здатна акумулювати споруда.

Додатковим чинником небезпеки може слугувати зміна сучасних кліматичних умов, на яку вказують численні дослідження. Спостерігається тенденція до поступового потепління та посушливості, але паралельно відбувається випадіння за короткі терміни часу опадів понад норму, які мають зливовий характер, що також створює небезпеку переливу води через гребінь через недостатню пропускну здатність водоскидних пристроїв.

Для забезпечення пропуску надлишкових вод ГТС обладнано скидними пристроями. Оскільки проектна документація частково відсутня або втрачена з плином часу, що встановлено за результатами візуального обстеження, то більшість з них змонтовано господарським способом у вигляді залізобетонних труб або колодязів шахтного типу та мають ряд порушень конструктивних параметрів, а саме: частково зруйновані, засмі-

чені уламками залізобетонних елементів та деревиною, замулені, відсутні сміттєзатримуючі ґрати.

Оцінювання пропускну здатності водоскидів (рис. 4.9, табл. 4.13) вказує на невідповідність нормативним вимогам пропуску максимальних витрат та об'ємів паводкових (дошових) вод заданої забезпеченості, які регламентуються ДБН В.2.4–3:2010. У деяких випадках незадовільний технічний стан водоскидів суттєво знижує їх пропускну здатність (рис. 4.9). Встановлено, що під час проходження паводків вищої забезпеченості існує небезпека підйому рівня води до позначок гребеня дамб і переливу через ГТС, а у випадку руйнування споруд обсяги води, які були закумуляовані у верхніх ставках і раптово надійшли до розташованих нижче, ускладнюють пропускну здатність водоскидів.

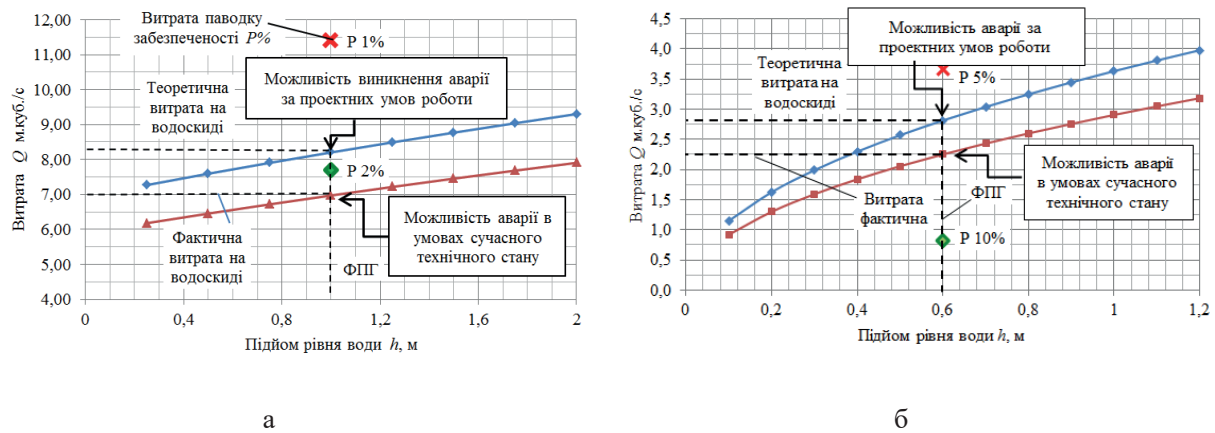


Рис. 4.9. Оцінювання пропускну спроможності водоскидних пристроїв:

а – баштовий водоскид (с. Новоолександрівка); б – трубчастий водоскид (с. Тургенівка); ФПГ – форсований підпірний горизонт; Р% – забезпеченість; кольором показано: синім (верхні криві) – теоретична, червоним (нижні) – фактична пропускну здатність водоскиду; зеленим кольором \blacklozenge – можливість пропуску паводка указаної забезпеченості, червоним \times – нездатність пропуску паводка вказаної забезпеченості

Таблиця 4.13

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. м ³	Площа водозбору F , км ²	Нормативні ймовірності P ,%, перевищення розрахункових максимальних витрат води за основним розрахунковим випадком (перевірочним)	Витрата на водоскиди Q , м ³ /с (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	Трет'яківка	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. 4.10, 4.11), який полягає в тому, що кожна наступна ГТС буде сприймати об'єми декількох прорваних дамб.

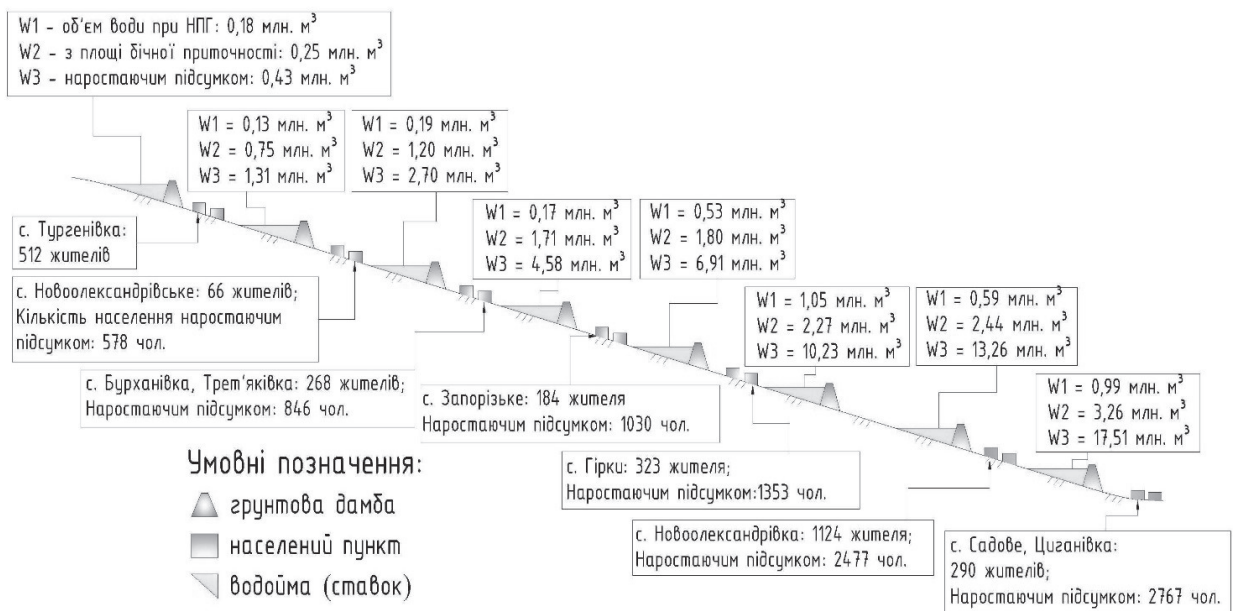


Рис. 4.10. Характеристика параметрів гідродинамічної аварії на дамбах каскаду водойм та населених пунктів р. Нижня Терса з урахуванням кумулятивного ефекту

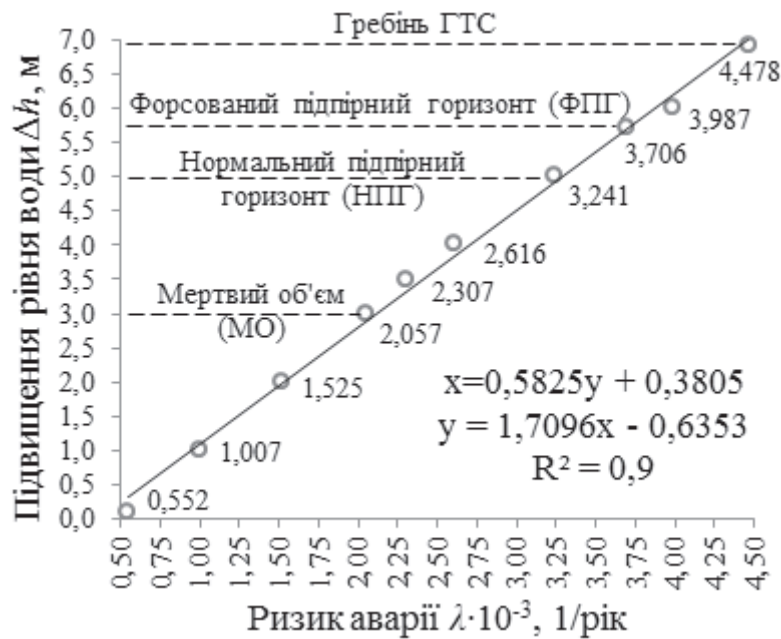


Рис. 4.11. Приклад графічного представлення ймовірнісного ризику аварії на ГТС унаслідок фільтраційних деформацій

Загальний об'єм води дощових паводків з додаванням об'єму, який утримують водойми, та який може бути вивільнений, сягає близько 17,5 млн м³. У зоні потенційної небезпеки підтоплення (затоплення) території та погіршення санітарних умов водокористування можуть опинитися 9 населених пунктів і понад 2,5 тис. жителів.

Таким чином, на основі гідрологічних розрахунків встановлено 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 проведено розрахунки, які вказують на підвищення ризику аварії на 50% і більше (табл. 4.14) в разі підйому рівня води від позначок нормального підпірного горизонту (НПГ) до позначок форсованого підпірного горизонту (ФПГ) та гребеня дамб.

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 запропоновано графічний спосіб встановлення критичної точки безпечної експлуатації ГТС, реалізація якого представлена на прикладі дамби поблизу селища Циганівка (рис. 4.12).

За рахунок поєднання на одному графіку (див. рис. 4.12) залежності об'ємів води від забезпеченості $W=f(P_{\phi})$ 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 позначкою перевищення гребеня дамби над рівнем НПГ.

Таблиця 4.14

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 позначці гребеня дамби, $\lambda \cdot 10^{-3}$	Підвищення загального ризику аварії тіла дамби при рівні води на позначці 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

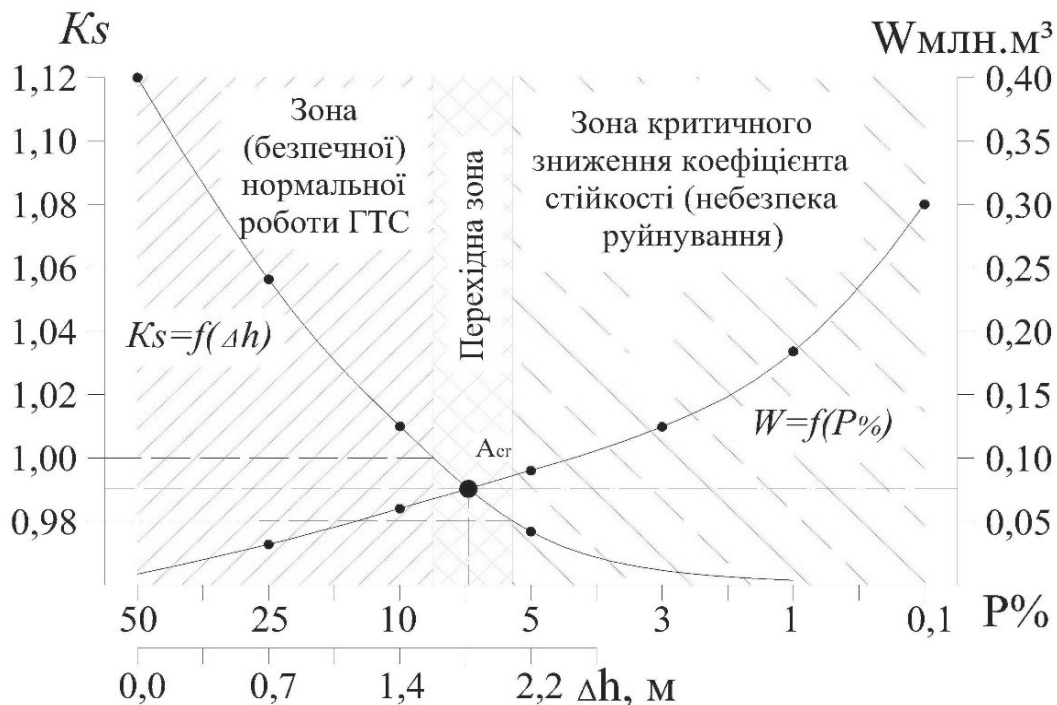


Рис. 4.12. Визначення критичної точки коефіцієнта стійкості залежно від забезпеченості та об'ємів води дощових (зливових) паводків:

$P\%$ – забезпеченість; K_s – коефіцієнт стійкості; W – об'єм води дощового паводка; Δh – висота підвищення рівня води відносно 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 гребінь, руйнуванням дамби і втратою несучої здатності за рахунок зниження коефіцієнта стійкості укусу). 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 розроблено спосіб, в основу якого покладено 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 шкалу оцінювання від 1 до 4 балів, що є найбільш застосованим за вітчизняним і міжнародним досвідом та широко представленим у 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 загальну кіль-

кість балів збільшено 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 різною мірою, 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*-того 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 представлено реалізацію запропонованої методики розподілу споруд за рівнем технічного стану і небезпеки експлуатації (рис. 4.13).

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

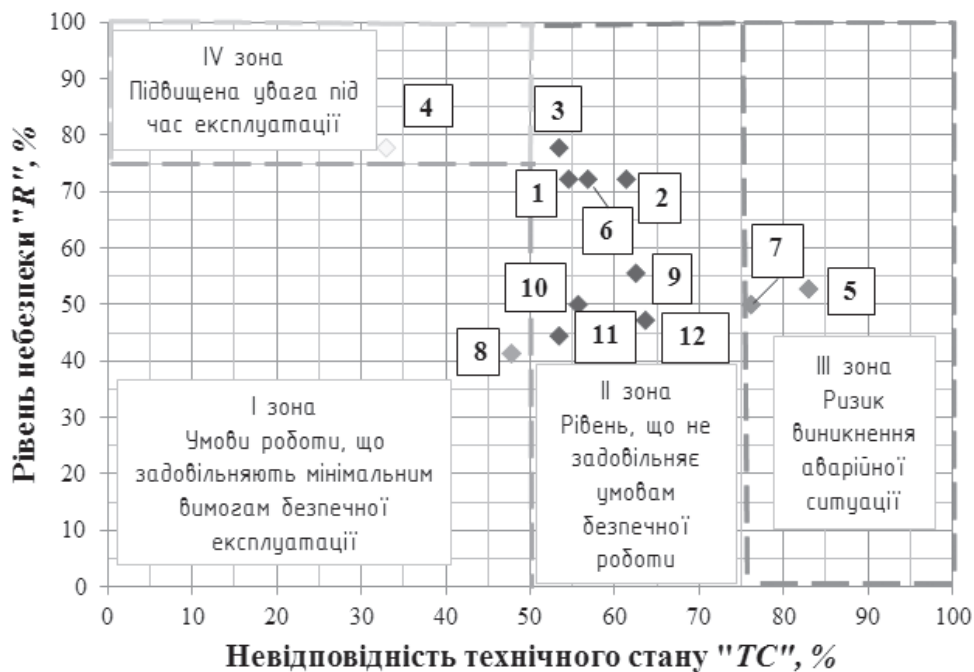


Рис. 4.13. Розподіл ГТС у каскаді за небезпечністю експлуатації (R) та невідповідністю технічного стану (ТС): номери відповідають порядку розташування дамб у каскаді

приймати ефективні управлінські рішення на підставі оперативних та довготермінових прогнозів, встановлювати рівень пріоритетності під час надходження коштів на капітальні та поточні ремонти, що підвищує безпеку експлуатації ГТС водогосподарсько-меліоративного призначення.

4.6.4. Застосування інформаційних технологій для автоматизованого проектування режимів зрошення сільськогосподарських культур

Для проектування зрошувальних систем необхідно мати інформацію про майбутні поливи: їх кількість, поливну і зрошувальну норму, розподіл за часом. Це впливає на величину забраної води із джерела зрошення, подачу і потужність насосних станцій, параметри зрошувальної мережі, спосіб поливу і кількість зрошувальної техніки. Погодні умови в зоні нестійкого зволоження, до якої належать і Дніпропетровська область, із року в рік змінюються в дуже великих межах. Тому потрібна велика кількість інфор-

мації про природні умови (в основному, погодні у багаторічному розрізі), біологічні особливості вирощуваних культур, їх оцінка і аналіз статистичними методами. Для обробки цієї інформації краще за все застосовувати інформаційні системи автоматизованого проектування.

Термін «інформаційні технології» в сучасному розумінні має широке значення, його можна інтерпретувати такими визначеннями:

- процеси, методи пошуку, збору, зберігання, обробки, надання, поширення інформації та способи здійснення таких процесів і методів;
- прийоми, способи і методи застосування засобів обчислювальної техніки при виконанні функцій збору, зберігання, обробки, передачі і використання даних (ГОСТ 34.003-90);
- ресурси, необхідні для збору, обробки, зберігання і розповсюдження інформації.

У широкому розумінні інформаційні технології охоплюють всі галузі створення, передачі, зберігання і сприйняття інформа-