

# Аналіз факторів та фізико-географічних умов що впливають на причини виникнення аварій на гідротехнічних спорудах

## Analysis of factors and physical and geographical conditions that influence the causes of accidents at hydrotechnical structures

Ігор Прощин \* A

\*Corresponding author: Ад'юнкт кафедри, e-mail: pros4in@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6686-5603

Ihor Proshchyn \* A

\*Corresponding author: PhD student, e-mail: pros4in@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6686-5603

<sup>A</sup> Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

<sup>A</sup> National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: June 3, 2023 | Revised: June 27, 2023 | Accepted: June 30, 2023

DOI: 10.33445/sds.2023.13.3.13

**Мета роботи:** дослідити фактори та природно-географічні умови, що впливають на причини виникнення аварій на гідротехнічних спорудах.

**Метод:** аналіз, синтез.

**Результати дослідження:** визначено коли чинників, які можуть призводити до виникнення аварій, окреслено потенційно найнебезпечніші гідроспоруди України та ймовірні наслідки аварій на них, сформульовано коло основних заходів для запобігання аваріям та мінімізації їх наслідків.

**Теоретична цінність дослідження:** у статті розглянуто типи, основні характеристики та призначення гідротехнічних споруд, визначено поняття гідродинамічно-небезпечного об'єкта та його особливості. Особливу увагу приділено аналізу причин, що можуть зумовлювати виникнення аварій на гідротехнічних спорудах, зокрема, до прориву гідродинамічно-небезпечних об'єктів.

**Тип статті:** аналітична.

**Purpose:** to investigate the factors and natural-geographical conditions affecting the causes of accidents at hydrotechnical structures.

**Method:** analysis, synthesis.

**Findings:** are considered the factors that can lead to accidents are determined, the potentially most dangerous hydraulic structures of Ukraine and the probable consequences of accidents on them are outlined, the main measures to prevent accidents and minimize their consequences are formulated.

**Theoretical implications:** the article considers the types, main characteristics and purpose of hydrotechnical structures, defines the concept of a hydrodynamically dangerous object and its features. Special attention is paid to the analysis of the reasons that can lead to the occurrence of accidents at hydrotechnical structures, in particular, to the breakthrough of hydrodynamically dangerous objects.

**Papertype:** analytical.

**Ключові слова:** гідротехнічна споруда, гідровузол, гідродинамічно-небезпечний об'єкт, хвиля прориву.

**Key words:** hydraulic construction, hydro node, hydrodynamically dangerous object, breakthrough wave.

### 1. Вступ

У статті розглянуто типи, основні характеристики та призначення гідротехнічних споруд, визначено поняття гідродинамічно-небезпечного об'єкта та його особливості. Особливу увагу приділено аналізу причин, що можуть зумовлювати виникнення аварій на гідротехнічних спорудах, зокрема, до прориву гідродинамічно-небезпечних об'єктів. Окрім того, охарактеризовано "поведінку" хвилі прориву, що виникає внаслідок руйнування гідродинамічно-небезпечного об'єкта, чинники, що впливають на її висоту та швидкість хвилі прориву. Розглянуто наймасштабніші аварії на гідротехнічних спорудах, що сталися в Україні і світі, а також причини їх виникнення. Визначено найбільш небезпечні гідротехнічні споруди в Україні та проаналізовані можливі наслідки аварій на цих об'єктах. Також у дослідженні окреслено ключові заходи для зменшення ризику виникнення аварій, зокрема, щодо удосконалення нормативного врегулювання у цій сфері, необхідності забезпечення систематичної та достовірної експертизи стану об'єктів.

У процесі дослідження опрацьовано різноманітні наукові джерела, присвячені проблемі аварій на гідротехнічних спорудах, зокрема, вивченню факторів, що призводять до їх виникнення

## **2. Теоретичні основи дослідження**

Основні засади цивільного захисту, зокрема, щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та міжнародного співробітництва в сфері цивільного захисту встановлені в Кодексі цивільного захисту України. Переїняття міжнародного досвіду щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій узгоджується також зі ст. 18 Конституції України, де визначено, що зовнішньополітична діяльність України спрямована на забезпечення її національних інтересів і безпеки шляхом підтримання мирного і взаємовигідного співробітництва з членами міжнародного співтовариства за загально визначеними принципами і нормами міжнародного права.

Значний внесок у вивчення проблем безпеки експлуатації гідротехнічних споруд зробили сучасні українські науковці Д. Стефанишин, К. Романчук А. Качинський, Н. Агаркова, С. Іванюта, І. Дрозд. Водночас, з огляду на актуальність порушеного питання, та даний напрямок потребує подальшого дослідження.

## **3. Постановка проблеми**

Гідротехнічні споруди (об'єкти) належать до числа найбільш потенційно небезпечних техногенних об'єктів, їх руйнування може привести до загибелі людей, забруднення довкілля та інших незворотних катастрофічних наслідків. Пошкодження гребель та інших гідротехнічних споруд може відбутися, як від дії природних сил так і внаслідок втрати ними стійкості, конструктивних дефектів, порушення правил техніки безпеки при експлуатації. Основним чинником гідродинамічної загрози в Україні тривалий час вважався незадовільний стан об'єктів ГТС – гребель, дамб, шлюзів, інших інженерних споруд, призначених для накопичення і концентрування значних об'ємів води. Але на даний час також постала загроза цілеспрямованого ураження гідротехнічних споруд збройними силами російської федерації, адже протягом всього часу повномасштабної війни в Україні агресор порушує закони та звичаї війни – від злочинів проти цивільного населення до руйнування критичної інфраструктури. Зокрема, за даними розвідки повідомляється про мінування Каховської ГЕС та ймовірне ураження інших гідротехнічних споруд. Ворог може вдаватися не тільки до пошкодження споруд, а й використовувати їх технічні можливості, враховуючи фізико-географічні умови, для затоплення територій в ході диверсійних операцій. Таким чином, вивчення факторів руйнування гідротехнічних споруд та наслідків такого руйнування в даний час є вкрай актуальним.

## **4. Результати**

Гідротехнічні споруди – споруди для використання водних ресурсів, а також для боротьби з шкідливим впливом вод: греблі й дамби різного призначення та їхні конструктивні елементи; водоскиди, водоспуски, споруди водовідведення: тунелі, канали, труби, лотки; регуляційні споруди, накопичувачі промислових відходів, ставки, відкриті водозабори, гідромеханічне та механічне обладнання, призначене для нормального функціонування споруд [1]. Гідротехнічні споруди використовуються з метою перетворення кінетичної енергії руху води в інші види енергії; охолодження відпрацьованого пару ТЕС і АЕС; меліорації; захисту прибережної території від води; забору води для зрошення і водопостачання; осушення; рибозахисну; регулювання рівня води; забезпечення діяльності річкових і морських портів, суднобудівних і судноремонтних підприємств, судноплавства; підводного видобутку,

збереження і транспортування (трубопроводи) корисних копалин (нафти і газу).

Гідротехнічні споруди дуже різноманітні по конструкції і використовуваних матеріалах зважаючи на розходження їх призначення, місцевих умов будівництва й експлуатації. Гідротехнічні споруди поділяються на: річкові, озерні, морські.

На місцевості з розвинутою гідрографічною мережею є в наявності велика кількість річкових гідротехнічних споруд: водопідпірних (гребель, дамб і т.д.); водоскидних (поверхневі та глибинні водоскиди); гідроенергетичні (приплотинні і дериваційні ГЕС); транспортні (шлюзи, суднопідйомники, судноплавні канали); водопровідні (канали, труби, тунелі і т.п.) та інші споруди для забезпечення різних галузей народного господарства.

Комплекс гідротехнічних споруд, об'єднаних по розташуванню на місцевості й умовам їхньої спільної роботи, зв'язаних єдиним режимом водоперетоку називається гідровузлом. Гідровузол обов'язково включає водопідпірні і водоскидні споруди, крім того в нього можуть входити й інші споруди: приплотинна ГЕС, шлюз і т.д. Гідротехнічні споруди гідровузла (гребля, затвори водоскиду, будівля і затвори приплотинної ГЕС, ворота шлюзів і т.п.), що перегороджують річкову долину та створюють у верхньому б'єфі гідровузла водосховище, утворюють напірний фронт гідровузла.

У результаті розвитку водного господарства на річках будуються не тільки окремі гідротехнічні споруди та гідровузли, але і цілі каскади гідровузлів розташовані на значному протязі від верхів'їв до усть рік, а також створюються цілі водогосподарчі системи.

Гідродинамічно-небезпечний об'єкт – споруда чи природне утворення що створює різницю рівнів води до і після нього. До таких об'єктів відносяться гідротехнічні споруди напірного фронту і природні греблі. Відмінною рисою гідродинамічно-небезпечного об'єкта є утворення хвилі прориву при його руйнуванні. При руйнуванні чи прориві гідротехнічної споруди можливе катастрофічне затоплення місцевості, утворення зони катастрофічного затоплення. Таке затоплення може привести до загибелі людей, ушкодження і руйнування будинків і споруд.

До гідродинамічно-небезпечних об'єктів відносяться природні греблі і гідротехнічні споруди напірного фронту.

Природні греблі створюються в результаті дії природних сил: зсувів, селів, лавин, землетрусів і т.п. У осінньо-весняно-зимовий період вони можуть виникати, як наслідок зажорів і заторів. Утворення природних гребель відбувається в такий спосіб. На річках у результаті дії природних сил русло може бути раптово перекрито. Тому стік у цьому випадку стає обмеженим чи цілком припиняється, у верхньому пліні рівень річки зростає, а в нижньому, як правило, зменшується. Надлишок води у верхньому б'єфі приводить до утворення природного водосховища, виникає різниця рівнів води у верхньому і нижньому б'єфі, тобто напірний фронт природної греблі. Рівень води у верхньому б'єфі постійно збільшується, що може привести до раптового прориву греблі через перевищення її міцнісних характеристик, або через розмив. Природна гребля, що проривається через короткий час після свого утворення без втручання сторонніх сил (стихійні явища, цілеспрямований вплив людини), називається короткочасною. Однак, якщо русло ріки було перекрито матеріалом, що складається з твердих порід, процес розмиву греблі може привести до того, що рівчак через неї досягне деякого сталого значення і вся система (природна гребля – водосховище – рівчак) здобуває стійкий стан. Природна гребля, що знаходиться в стійкому стані, називається довгостроковою. Прикладом довгострокової природної греблі є довгострокова природна загата, що не має стоку, вона виникає, коли наростання рівня води в її крайньому б'єфі з якихось причин припиняється. У поняття "природна гребля" включаються і такі утворення як гірські, сніжні, льодовикові й інші озера, що можуть прорватися через свої берега вниз по схилу гори з утворенням хвилі прориву.

Основними гідротехнічними спорудами напірного фронту є: греблі; устої підпірні стіни,

що входять до складу напірного фронту; дамби; водоприймачі і водозабірні споруди; напірні басейни і зрівнювальні резервуари; гідравлічні, гідроакумуючі електростанції і малі гідроелектростанції, споруди, що входять до складу інженерного захисту міст, сільськогосподарських і народногосподарських об'єктів. Гідротехнічні споруди напірного фронту підрозділяються на постійні і тимчасові. До тимчасових відносяться споруди, що використовуються в період будівництва і ремонту постійних споруд. Постійними називаються гідротехнічні споруди, що використовуються для виконання технологічних завдань. Постійні гідротехнічні споруди згідно БНіП 2.06.01-86 підрозділяються на основні і другорядні. До основних потрібно відносити гідротехнічні споруди напірного фронту, прорив яких спричиняє порушення нормальної життєдіяльності населення прилеглих населених пунктів, руйнування, ушкодження житла чи об'єктів народно-господарства в результаті дії хвилі прориву. До другорядних потрібно відносити гідротехнічні споруди напірного фронту, руйнування чи ушкодження яких не спричинить за собою зазначених наслідків.

Аварії на гідротехнічних спорудах представляють істотну загрозу для населення, господарських об'єктів та довкілля.

Основними причинами, які можуть викликати аварії на гідротехнічних спорудах, окрім загрози військового ураження, диверсій та терористичних актів, є наступні:

- стихійні лиха (землетруси, урагани, гірські обвали, повені, зливи, селі тощо);
- помилкові оцінки інженерногеологічних, гідрологічних, сейсмічних, кліматичних умов будівництва;
- помилки при проектуванні;
- неякісне виконання робіт (особливо при будівництві порівняно невеликих споруд, коли не забезпечений належний геотехнічний контроль з участю інженерів-гідротехніків);
- неправильна експлуатація споруди (у тому числі зумовлена недостатньою укомплектованістю штатами і технікою, низькою кваліфікацією персоналу, недоліками фінансування, недостатньою забезпеченістю експлуатаційно-методичною документацією тощо);
- відсутність або недостатній обсяг заходів щодо забезпечення готовності об'єкта до локалізації та ліквідації аварійної ситуації; відсутність своєчасних ремонтних робіт;
- техногенні катастрофи [5].

Найпоширенішою причиною руйнування греблі є переливи води через її гребінь при великих повенях, недостатні розміри водоперепускних споруд, а також вплив виникаючих згодом фільтраційних потоків. Своєю чергою, природно-географічними умовами виникнення повеней є: випадання опадів (дощу), танення снігу та льоду, цунамі, тайфуни.

Безпека гребель і інших гідротехнічних споруд залежить від трьох складових:

- адекватність проекту навколишньому середовищу, тобто ступінь обліку природних і антропогенних факторів, що впливають на вибір матеріалів конструкцій і технічних рішень;
- якість будівництва;
- управління і експлуатація, що передбачають проведення постійного контролю за станом і поведінням гідротехнічної споруди.

До основних гідротехнічних споруд, руйнування яких приводить до гідродинамічних аварій, відносяться греблі, водозабірні і водоскидні споруди (шлюзи). Катастрофічне затоплення, що є наслідком гідродинамічної аварії, полягає в стрімкому затопленні місцевості хвилею прориву. Масштаби наслідків гідродинамічних аварій залежать від параметрів і технічного стану гідровузла, характеру і ступені руйнування греблі, обсягів запасів води у водоймищі, характеристик хвилі прориву і катастрофічної повені, рельєфу місцевості, сезону і часу доби події і багатьох інших факторів [4].

Прорив гідродинамічно-небезпечного об'єкта може відбутися через вплив сил природи, зокрема, повені, конструктивних дефектів, порушення правил експлуатації,

руйнування основи, недостатності водоскидів і т.д., а у воєнний час – як результат впливу по них засобів ураження.

При прориві гідродинамічно-небезпечного об'єкта в ньому утвориться проран, від розмірів якого залежать обсяг і швидкість падіння вод верхнього б'єфа в нижній б'єф і параметри хвилі прориву[3].

Основними вражаючими факторами катастрофічного затоплення є: хвиля прориву (висота хвилі, швидкість руху) і тривалість затоплення.

Хвиля прориву – хвиля що утвориться у фронті потоку, що спрямовується в пролом потоком води, має, як правило, значну висоту гребня, швидкість руху, має велику руйнівну силу. Хвиля прориву утворюється при одночасному накладенні двох процесів: падіння вод водоймища з верхнього в нижній б'єф, що викликає перетік води з цього місця в інші, де рівень води нижче.

Вплив хвилі прориву на об'єкти подібно впливу ударної хвилі повітряно-ядерного вибуху, але відрізняється від нього в першу чергу тим, що діючим тілом тут є вода.

Хвиля прориву з гідравлічної точки зору, є хвилею переміщення, що, на відміну від вітрових хвиль, які виникають на поверхнях великих водойм, має здатність переносити в напрямку свого руху значні маси води. Тому хвилю прориву варто розглядати як визначену масу води, що рухається вниз по річці і безупинно змінює свою форму, розміри і швидкість.

Висота і швидкість хвилі прориву залежать від гідрологічних і топографічних "умов річки". Наприклад, для рівнинних районів швидкість хвилі прориву коливається від 3 до 25 км/год, а для гірських і передгірних місць має величини порядку 100 км/год. Лісисті ділянки сповільнюють швидкість і зменшують висоту хвилі.

Початок хвилі називається фронтом хвилі, що переміщаючись з великою швидкістю, висувається вперед. Фронт хвилі може бути дуже крутим при переміщенні великих хвиль на ділянках, близьких до зруйнованого гідровузла, і відносно пологим на великих відстанях від гідровузла.

Зона найбільшої висоти хвилі називається гребенем хвилі, що рухається, як правило, повільніше, ніж її фронт. Ще повільніше рухається кінець хвилі – хвіст хвилі. Внаслідок розходження швидкостей цих трьох характерних складових, хвиля поступово розтягується по довжінні річки, відповідно зменшуючи свою висоту і збільшуючи тривалість проходження. При цьому в залежності від висоти хвилі й ухилів річки на різних ділянках, а також неоднакової форми і шорсткості русла і заплави, може спостерігатися деяке тимчасове прискорення руху гребня з "перекошуванням" хвилі тобто з відносним укороченням зони підйому в порівнянні з зоною спаду.

Зона затоплення утворюється в такий спосіб: хвиля прориву у своєму русі уздовж русла ріки безупинно змінює висоту, швидкість руху, ширину й інші параметри. Ця хвиля має зони підйому рівнів води і зони їхнього спаду. Висота води починає інтенсивно збільшуватися, досягаючи через деякий проміжок часу максимальної, перевищуючої брівки берегів ріки, у результаті чого починається затоплення заплави. При цьому утворюються косі течії, що формують головний клин, який має в плані форму криволінійного трикутника

Після припинення підйому рівнів по всій ширині потоку настає більш-менш тривалий період руху, близький до сталого. Цей період буде тим довше, чим більше обсяг водоймища. Останньою фазою утворення зони затоплення є спад рівнів.

Після проходження хвилі прориву залишається перезволожена заплава і сильно деформоване русло ріки.

Руйнівна дія хвилі прориву є результатом:

- різкої зміни рівня води в нижньому і верхньому б'єфах при руйнуванні напірного фронту;
- безпосереднього впливу маси води, що переміщається з великою швидкістю;

- зміною міцнісних характеристик ґрунту в основі споруд в наслідок фільтрації і насичення його водою;
- розмиву і переміщення великих мас ґрунту;
- переміщення з великими швидкостями уламків зруйнованих будинків;
- споруд і їхнього таранного впливу.

У зонах можливого затоплення можуть бути виділені ділянки, що характеризуються ступенем небезпеки для населення, що там знаходиться, і характером впливу на об'єкти народного господарства. Усю зону можливого затоплення можна розділити на три ділянки.

Ділянка катастрофічно-небезпечного затоплення, що примикає безпосередньо до нижнього б'єфу гідровузла. Нижня межа цієї ділянки визначається відстанню, що проходить фронт хвилі прориву за 15-30 хвилин. Затоплення даної ділянки відбувається з граничними значеннями основних параметрів хвилі прориву.

Ділянка надзвичайного-небезпечного затоплення, нижня межа якого визначається відстанню що проходить фронт хвилі прориву за 0,5 – 1,0 год.

Ділянка небезпечного затоплення, характер затоплення якого майже аналогічний затопленню повеннями (паводковими водами).

Для кожної ділянки затоплення заздалегідь встановлюються параметри хвилі прориву, границі зон катастрофічного і надзвичайно небезпечного затоплення за графіком руху хвилі прориву.

Практичним шляхом, при проведенні водолазних і рятувальних робіт встановлено, що межею небезпечного затоплення приймаються параметри хвилі прориву, що викликають масову загибель і важкі ураження людей: висота (глибина) потоку  $H \geq 1,5$  м і швидкість плин  $V \geq 2$  м/с.

У світі за останні 80 років відбулося більш тисячі аварій великих гідротехнічних споруд, причини їх різні, але найчастіше аварії відбуваються через руйнування основи та недостатню пропускну здатність водоскидів. В історію увійшли величезні катастрофи, викликані проривом гребель на річках Хуанхе і Янцзи, Міссісіпі і Міссурі, на Дунаї. Великі аварії гребель сталися у США, Франції, Італії, Індії, Бразилії, Південній Кореї та інших країнах. Найбільш трагічні наслідки від аварій гребель мали місце у США (греблі Саут Форк, Каньйон Лейк, Сан Френсіс, Тетон). Збитки від руйнування кам'яно-земляної греблі Тетон заввишки 93 м. у басейні річки Колорадо перевищив 1 млрд. дол. Катастрофічне затоплення міста Новий Орлеан, США у 2005 р. під час урагану Катріна було спричинено не стільки проривами морських хвиль з Атлантики в прибережну зону, скільки розмиванням довгої протипаводкової захисної дамби з протилежного боку міста. Високі вітрові хвилі з водосховища призвели до переливу води через дамбу, яка виявилася зовсім не підготовленою до такого натиску стихії. У 1962 р. значно слабкіший ураган пошкодив і частково розмив саме цю дамбу, однак відповідних інженерних робіт для підвищення її надійності тоді так і не було проведено.

На території України зведено близько 1000 водоймищ з обсягом більш 1 млн. м<sup>3</sup> і площею дзеркала більше 1 млн. га. та 24 000, ставків, озер, зведено близько 200 великих гребель. Більшість гребель земляні (з місцевих матеріалів чи намівні). Тільки за останні 30 років в Україні зведено 7 великих каналів довжиною майже 2000 км з подачею на них більш 1000 м<sup>3</sup> води за секунду, 10 великих водоводів великого діаметра, по яких вода подається в маловодні регіони України [2].

Значну гідродинамічну загрозу в Україні становить незадовільний стан об'єктів ГТС – гребель, дамб, шлюзів, тобто інженерних споруд, призначених для накопичення і концентрування значних об'ємів води. Так, у складі комплексу водозахисних споруд України налічується 3 500 тис. км дамб, 1 200 тис. км. берегоукріплення, понад 600 насосних і компресорних станцій для перекачування надмірних кількостей води, з них на Дніпрі – 308 км. дамб, 325 км берегоукріплювальних споруд, а також 31 насосна і 3 компресорні станції [5].

Через недостатне фінансування багато з них втрачає надійність і загрожує виникненню надзвичайних ситуацій, аварій та катастроф. Найбільшу гідродинамічну загрозу для населення і навколишнього середовища створює каскад Дніпровських (Київське, Канівське, Кременчуцьке, Дніпродзержинське, Каховське) та Дністровське водосховище [7].

За доповіддю Ради національної безпеки і оборони жодна державна установа в Україні сьогодні не може визначити дійсний стан гребель та шлюзів. Цілком реальною стає загроза масштабної надзвичайної ситуації, яка може призвести до затоплення 8 областей площею понад 8 тис. км<sup>2</sup>, 463 населених пунктів, в яких проживає біля 1,6 млн. осіб. В цій зоні розташовано близько 200 великих промислових підприємств. Буде зруйновано до 80 мостів, системи енергопостачання. За висновками фахівців, екологічні та економічні наслідки надзвичайної ситуації можуть набрати глобального характеру.

Одним із природних чинників руйнування гребель може бути землетрус. Слід зазначити, що 20 % території України вважають сейсмічно небезпечними, тобто такими, де трапляються періодичні землетруси інтенсивністю 6–9 балів за шкалою MSK-84. За останні 1000 років на території України зафіксовано понад 30 сильних землетрусів. У сейсмічних зонах різної інтенсивності знаходяться АР Крим, Закарпатська, Чернівецька, Вінницька, Кіровоградська, Львівська, Одеська, Тернопільська, Хмельницька області України.

За оцінками експертів, близько 20 % основних фондів України знаходяться у сейсмічно активних зонах. Особливе занепокоєння викликає технічний стан гребель та гідротехнічних споруд ГЕС, хвостосховищ, шламонакопичувачів промислових підприємств, господарська діяльність яких супроводжується небезпечними відходами. Міжвідомча комісія з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки та оборони України у 2008 та 2009 роках, рекомендувала Кабінету Міністрів України розробити концепцію та програму захисту населення, будівель і споруд від сейсмічної небезпеки. Відповідно до нормативної документації, греблі та дамби не належать до об'єктів підвищеної відповідальності. Основним завданням Програми має стати розроблення нормативної бази для сейсмічної безпеки гребель і дамб згідно з вимогами євро стандартів [12].

Причинами аварій в Україні також можуть стати порушення фільтраційного режиму внаслідок суфозії або кольматації; наднормативне скидання води через гребінь греблі внаслідок стихійного лиха; пошкодження або розмивання тіла греблі та берегових споруд; несправність обладнання. Перевірки, проведені на Дніпровському каскаді, свідчать про критичний стан греблі Канівської ГЕС. Під час будівництва греблі у 1972–1975 р. було використано експериментальні технології, за якими до складу бетонів входив попіл. У результаті можливе руйнування бетонної конструкції зсередини, при цьому зовнішня поверхня греблі виглядатиме міцною аж до моменту прориву. До того ж споруди Канівської ГЕС не відповідають міжнародним нормам гідрологічної безпеки: немає аварійних водоскидів, водопропускні можливості шлюзів і водоскидів недостатні. З огляду на те, що гребля Канівського водосховища утримує 2,5 км<sup>3</sup> води, усі зазначені вище порушення є досить серйозними [6]. При цьому, за даними CEE Bankwatch Network, Канівське водосховище, розташоване нижче Київського, прийняло на себе значну кількість радіоактивного забруднення після аварії на ЧАЕС. Отже, у разі порушення цілісності греблі частина Черкаської області з населенням 1,2 млн. осіб може перетворитися на болото з радіоактивного мулу.

У жовтні 2010 р. свої побоювання щодо стану греблі Канівської ГЕС висловили фахівці Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD) та громадські екологічні організації. Експертні висновки та інші документи щодо цього питання неодноразово направляли до Черкаської обласної державної адміністрації.

У європейських ЗМІ Київську ГЕС називають одним із найнебезпечніших гідротехнічних об'єктів світу. Київський гідровузол складається з будівлі ГЕС, греблі, судноплавного шлюзу і земляної дамби. Гребля Київської ГЕС є комбінованою – бетонно-гравітаційною та ґрунтовою,

її довжина становить 42,3 км, ширина – 50 м, висота – 10 м, пропускна здатність – 12500 м<sup>3</sup>/с. Згідно з даними ICOLD, після 40–50 років експлуатації греблі значно зростає ймовірність її пошкодження та аварії. Київську ГЕС було побудовано у 1964 р., тобто період експлуатації на сьогодні становить 58 років. Ще у 1985 р. в тілі Київської греблі в районі селища Лебедівка утворився проран (промивина). Спроби зупинити воду, що витікала через тріщину, піском та бетонними блоками виявилися невдалими [12].

Особливість греблі Київської ГЕС полягає в тому, що вона утримує 90 млн. тонн радіоактивного мулу. Ситуація погіршується ще й тим, що в Дніпровському каскаді крім Київської ГЕС є ще 5 гребель. У разі аварії в зону ризику потрапляють 17 наземних атомних реакторів. Тобто якщо постраждає гребля Київської ГЕС, на Україну може ринути “радіоактивне цунамі”, наслідки якого взагалі важко передбачити.

Також небезпечне становище на Кременчуцькому гідровузлі, греблі Дніпровської ГЕС. Цей висновок можливо зробити не тільки через технічне становище, а й тому що, наприклад через три години прориву на Дніпровській ГЕС буде повне наповнення водосховища, а з часом це може привести до затоплення частини територій м. Запоріжжя [8].

Забруднення довкілля в Україні рідкими речовинами траплялося, зокрема, в результаті гідродинамічних аварій: при прориві 13 березня 1961 року Куренівської греблі у верхів'ї Бабиного Яру (м. Київ), яка підпирала сховище з водно-глинистою сумішшю (пульпою) цегельних заводів; при прориві 15 вересня 1983 року греблі хвостосховища з сольовими розсолами Стебниківського калійного заводу; при неодноразових проривах греблі Бортницької станції аерації, яка підпирає мул, що залишається після очищення стічних вод Києва [9].

Як природні, так і штучні греблі повинні бути під пильною увагою гідрологів і спеціальних служб.

У разі небезпеки прориву греблі необхідно вжити заходів до його недопущення аварійної ситуації. Наприклад: регулювання стоку води; транзитний пропуск вод.

Якщо існує небезпека прориву природного водоймища, то необхідно вжити заходів по зміцненню стінок греблі, або викликати прорив в менш небезпечному напрямку.

Також є потреба в таких заходах [10].

- обмеження будівництва житлових будинків і об'єктів народного господарства в місцях можливої дії хвилі прориву;
- обвалування населених пунктів і сільськогосподарських угідь;
- створення надійних дренажних систем;
- насадження лісів, що забезпечить збільшення шорсткості поверхні і у разі аварії сприятиме зменшенню швидкості хвилі прориву [11].

## **5. Висновки**

Необхідно враховувати, що в Україні аварії на гідроспорудах можуть бути обумовлені перевищенням нормативних термінів експлуатації гребель та гідротехнічних споруд; порушенням роботи окремих вузлів; несвоєчасним проведенням профілактичного ремонту; експлуатацією ГЕС у режимах, що не відповідають розрахунковим. Тому стан гідротехнічних споруд, особливо Дніпровського каскаду, повинен знаходитись під пильним контролем фахівців, мають забезпечуватися своєчасні ремонтно-відновлювальні роботи. Усі гідродинамічно-небезпечні об'єкти мають перебувати під надійною охороною від можливих ворожих диверсій та терористичних актів.

В Україні доцільно прийняти Закон щодо безпеки гідротехнічних споруд, в якому зокрема, буде врегульовано забезпечення сейсмічної безпеки гребель. На нормативному

рівні необхідно розробити інструкції з управління аваріями, в тому числі з повною втратою електрозабезпечення.

Вирішення проблематики аварій на гідротехнічних спорудах має включати захисно-профілактичні заходи, налагодження системи попередження, і розробку планів ліквідації можливих наслідків аварій. Наукові розробки, спрямовані на розв'язання прикладних завдань щодо запобігання аваріям має стати ефективним елементом захисно-профілактичних заходів.

## 6. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

## 7. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

### Список використаних джерел

1. Методика обстеження і паспортизації гідротехнічних споруд систем гідравлічного вилучення та складування промислових відходів: затв. наказом Державного комітету України у справах містобудування і архітектури від 19.12.1995р. № 252. С.11.
2. Стан технічної та природної безпеки в Україні у 2001 році Міністерство з питань НС та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи: довідник/ Київ. НАН України, 2002 рік. 75 с.
3. Кабанов С.И. Расчет волны прорыва, которая образуется при разрушении гидроузлов./ ВИА им. Куйбышева. Москва:1976.123 с.
4. Положення про розслідування причин аварій (обвалень), споруд, їх частин та конструктивних елементів: ДБН.В. 1.2-1-95/ Державний Комітет України у справах містобудування і архітектури. Київ 1995 р. С.17-18.
5. Качинський А.Б, Агаркова Н.В. Оцінка ризику як основа стратегії управління безпекою гідротехнічних споруд, С.4-7. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/131750/16-Kachinskiy.pdf?sequence=12014> (дата звернення: 5.11.2022).

### References

1. Methodology of inspection and certification of hydraulic structures of systems of hydraulic extraction and storage of industrial waste: zatv. nakazom Derzhavnoho komitetu Ukrainy u spravakh mistobuduvannia i arkhitektury vid 19.12.1995r. № 252. S.11.
2. The state of technical and natural safety in Ukraine in 2001 Ministry of Emergency Situations and Protection of the Population from the Consequences of the Chernobyl Disaster.: dovidnyk/ Kyiv. NAN Ukrainy, 2002 rik. 75 s.
3. Kabanov S.Y. Calculation of the breakthrough wave, which is formed when hydraulic units are destroyed./ VYA im. Kuibysheva. Moskva:1976.123 s.
4. Regulations on the investigation of the causes of accidents (collapses), buildings, their parts and structural elements: DBN.V. 1.2-1-95/ Derzhavnyi Komitet Ukrainy u spravakh mistobuduvannia i arkhitektury. Kyiv 1995 r. S.17-18.
5. Kachynskiy A. B, Aharkova N. V. Risk assessment as a basis for the strategy of managing the safety of hydrotechnical structures, S. 4-7. Available from : <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/131750/16-Kachinskiy.pdf?sequence=12014> (data zvernennia: 5.11.2022).

6. У дамбі Канівської ГЕС утворилися порожнини, екологи б'ють на сполох. Інформаційне-аналітичне видання: веб-сайт. URL: [https://provincia.com.ua/novini/news\\_ekologya/](https://provincia.com.ua/novini/news_ekologya/) (дата звернення: 5.11.2022).
7. Гідродинамічні аварії. Методика оцінки інженерного стану при них і заходи захисту населення та території : веб-сайт. URL: <https://helpiks.org/5-96852.html> (дата звернення: 7.11.2022).
8. Шишкина Н. К. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: посібник под ред. – М., ГУУ, 2009 р. С.110-115.
9. Анісімов. О. Куренівський апокаліпсис : кийвська трагедія 13 березня 1961 року в фотографіях, документах, спогадах... / О. Анісімов. – К. : Факт, 2000. – 90 с.
10. Хромых А.А. Основы безопасности жизнедеятельности: посібник. Москва, 2005 р. С. 25-37.
11. Шеремет В.В., Кравцов М.М. Гідродинамічні аварії: матеріали XIV міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів: м. Львів 2019 р. ЛДУ БЖД, С.454-455
12. Бондар А.И., Михайленко Л.Е., Ващенко В.Н., Лапшин Ю.С. Сучасні проблеми гідротехнічних споруд в Україні. Вісн. НАН України. 2014, № 2. С.40-43
6. Cavities have formed in the Kanivska HPP dam, ecologists are sounding the alarm. Informatsiine-analitychne vydannia: Available from : [https://provincia.com.ua/novini/news\\_ekologya/](https://provincia.com.ua/novini/news_ekologya/) (data zvernennia: 5.11.2022).
7. Hydrodynamic accidents. Methodology for assessing the engineering condition of them and measures to protect the population and the territory. Available from : <https://helpiks.org/5-96852.html> (data zvernennia: 7.11.2022).
8. Shyshkyna N.K. Safety in emergency situations: posibnyk pod red. Moscow, HUU, 2009. S.110-115.
9. Anisimov. O. Kurenivsky apocalypse: the Kyiv tragedy of March 13, 1961 in photographs, documents, memories... / O. Anisimov. Kyiv: Fakt, 2000. 90 p.
10. Khromikh A.A. Essentials of life safety:: posibnyk. Moscwa, 2005. S. 25-37.
11. Sheremet V.V., Kravtsov M.M. Hydrodynamic accidents: materialy XIV mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh, kursantiv ta studentiv: Lviv 2019. LDU BZhD, S.454-455
12. Bondar A.Y., Mykhailenko L.E., Vashchenko V.N., Lapshyn Y.S. Modern problems hydraulic structures in Ukraine. Visn. NAN Ukrainy. 2014, № 2. S.40-43.