

But on the rest, the area of the external enclosing bearing brick walls of the building, no defects, mechanical damage, collapses, visually observed superpermissible deviations from the vertical plane, traces of material bulging out of the plane were not found.

All work on the upgrade and modernization of the building was carried out on the basis of the design and construction documentation developed and approved in accordance with the established procedure in order to ensure the bearing capacity of the existing structures and structural elements under construction. This leads to an increase in the durability of the building, the quality of life, and a healthier environment.

**Key words:** modification, space-planning solution, features, revitalization, structures, rebuilding, industrial buildings, renovation, change, technology.

doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-86-93

УДК 626.816

**Бойко Т.К., Пальченко О.Л.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

*(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [tattarap60@gmail.com](mailto:tattarap60@gmail.com), [oleg\\_palchenko@yahoo.com](mailto:oleg_palchenko@yahoo.com);  
[orcid.org/0000-0002-4466-8999](http://orcid.org/0000-0002-4466-8999), [orcid.org/0000-0002-3809-3148](http://orcid.org/0000-0002-3809-3148))*

## **АНАЛІЗ АВАРІЙ КАМ'ЯНО-ЗЕМЛЯНИХ ГРЕБЕЛЬ ТА ЇХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ**

Детально розглянуто і класифіковано різноманітні причини й фактори ризику надзвичайних ситуацій на гідротехнічних об'єктах. Розглянуто причини катастроф, які відбулися в різних країнах світу, що пов'язані із пошкодженням або руйнуванням земляних гребель. Відзначено, що значна кількість пошкоджень спостерігається в період проходження катастрофічних надвисоких повеней та паводків, що пов'язано з недоліками проектно-технічних рішень за пропуску екстремальних витрат, а також внаслідок недобросовісної роботи експлуатаційних служб. Встановлено фактори, що впливають на надійність і безпеку гребель, що експлуатуються, розглянуто проблеми забезпечення якості робіт при зведенні напірних ґрунтових споруд.

**Ключові слова:** ґрунтові греблі, аварії гребель, утворення тріщин, стійкість, фільтрація.

**Вступ.** За даними Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD) [1] в даний час в світі побудовано більш ніж 45000 великих гребель, із загального числа яких більш ніж 60% гребель є ґрунтовими. Найбільше число ґрунтових гребель було побудовано в Нідерландах (100%) і в Англії (67%), найменше число – в Норвегії (1%) і в Австрії (12%). Приблизно на 40% з усієї кількості побудованих гребель різних типів було зафіксовано аварії, а також прориви напірного фронту [2].

Розмежування аварій (пошкодження і руйнування) в залежності від типу гребель і місця в споруді, де вони відбулися, безперечно свідчить про те, що переважна частина аварій сталася на ґрунтових греблях (або 77% від загального числа розглянутих випадків). 25% розглянутих випадків доводиться на основу, 38% – на тіло греблі, 9% – на водоскидні або водозливні споруди і 5% – на різні інші частини гребель.

В історію гідротехніки увійшли колосальні катастрофи, що були викликані проривом дамб на річках Хуанхе та Янцзи, Міссісіпі та Міссурі, на Дунаї, в Голландії. Великі катастрофічні аварії гребель відбулися в США, Франції, Італії, Індії, Бразилії, Південній Кореї та інших країнах. Найбільш трагічні наслідки від пошкодження гребель ГЕС і водосховищ мали місце в США (греблі Біг Томсон, Каньйон Лейк, Сент Френсіс, Титон). Завдані збитки від аварії на греблі Титон в басейні р. Колорадо перевищили 1 млрд. доларів [3].

**Актуальність и постановка проблеми.** Імовірність аварій на гідроспорудах значно зростає після 30–40 років їх експлуатації і для нашої країни, де значна частина гідровузлів вже пройшла цей критичний період, вкрай актуальним є питання постійного моніторингу стану споруд [4,5].

Найбільшу небезпеку становлять, звичайно, пошкодження і руйнування великих гребель і водосховищ, тому що за збільшення висоти гребель і обсягів водосховищ підвищується ступінь ризику, якому піддаються населення, господарські та природні об'єкти в

нижніх б'єфх гідровузлів [6]. Також великі, але менш вивчені, небезпека й шкода для верхніх б'єфів, які пов'язано із випорожненням водосховищ.

Кам'яно-земляні греблі є спорудами довговічними. За період експлуатації можна виділити декілька етапів, на кожному з яких можуть виникнути відмови в роботі греблі, що призводять до аварійних ситуацій. До першого такого етапу можна віднести закінчення будівництва і перше наповнення водосховища, коли в тілі та основі греблі відбуваються інтенсивні процеси, які обумовлені формуванням фільтраційного потоку і зміною напружено-деформованого стану споруди. Другий етап – це початковий період експлуатації, протягом якого стабілізуються навантаження та експлуатаційні параметри, усуваються можливі дефекти конструкції, налагоджується робота контрольно-виміральної апаратури. Третій етап – період нормальної експлуатації греблі, що триває десятиліттями [7]. Тут слід враховувати випадкові явища, які надають в тій чи іншій мірі вплив на роботу греблі, такі як землетруси, штормові вітри, катастрофічні паводки, зливи тощо. Четвертий етап – період, коли виявляються ознаки старіння греблі, такі як підвищення фільтраційних витрат, збільшення каламутності води, що профільтрувалася, вихід з ладу дренажної системи тощо. [8].

У розрізі кам'яно-земляної греблі можна умовно виділити три фрагмента за висотою, які відрізняються конструктивно і функціонально: 1-й фрагмент, нижня (цокольна) частина греблі – від основи греблі до позначки, яка дорівнює приблизно одній третині від повної її висоти; 2-й фрагмент, середня частина греблі – від верхньої межі першого фрагмента до позначки нормального підпірного рівня (НПР); 3-й фрагмент, верхня пригребнева частина греблі – від відмітки НПР до позначки гребня греблі.

Надійність всієї греблі в цілому буде гарантована тільки за рівномірної роботі всіх трьох зазначених вище фрагментів: першого, що забезпечує надійне поєднання з основою в умовах діючих напорів; другого, що працює в зоні змінних рівнів води у верхньому б'єфі та найбільших деформацій в тілі греблі; і третього, розташованого у верхній частині греблі в зоні хвильових і атмосферних впливів, а також максимальних сейсмічних сил [9].

**Аналітичний огляд літературних джерел.** На основі аналізу світового досвіду експлуатації насипних ґрунтових споруд [10, 11] виявлено специфічні особливості зниження їх надійності, які полягають у формуванні в споруді внаслідок прихованого формування в їх тілах фільтраційно-деформаційних зон, процесів розрідження й розмиву ґрунтів, суфозійних процесів, утворення «гідравлічних тріщин» з розвитком їх в водопровідні канали та подальшого інтенсивного розмиву нижнього схилу. Проблема полягає в тому, що зони підвищеної фільтрації, що розвиваються в тілі насипних ґрунтових споруд, на початкових етапах візуально і традиційними методами не виявляються. Переростаючи в подальшому в фільтраційно-деформаційні зони, дані процеси проявляються у вигляді інтенсивних протікань й розмивів, тобто фактично створюють надзвичайну ситуацію з реальною загрозою аварії, що вимагає невідкладного прийняття захисних та зміцнюючих заходів. Це обумовлює застосування спеціальних досліджень і моніторингу, які дозволяють виявити і, найголовніше, локалізувати зони підвищеної фільтрації на ранніх стадіях їх формування [12].

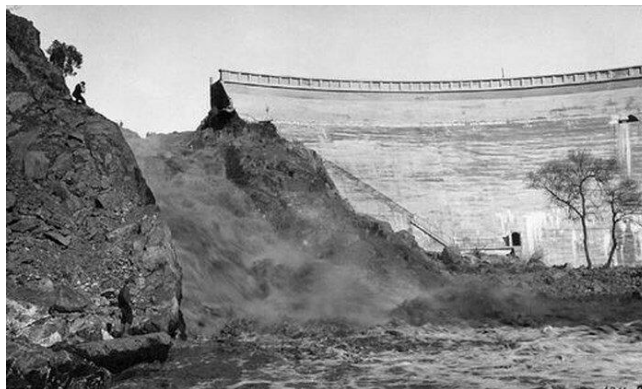
Є багаточисельні приклади виникнення надзвичайних ситуацій та аварій.

Ґрунтова гребля Тетон (США) висотою 93 м обрушилася в 1976 році, після першого заповнення водосховища (рис. 1). Причина – підвищена фільтрація через породи основи греблі, що призвело до її розмиву.



*Рис. 1. Прорив греблі Тетон в Рексбурзі, штат Айдахо, США*

Грунтова гребля Баньцяо (Китай) висотою 24,54 м була зруйнована в 1975 році (рис. 2) в результаті переливу через гребінь греблі [12].



*Рис. 2. Зруйнована дамба Баньцяо*

Обстеження багатьох високих гребель свідчать, що в результаті взаємодії окремих елементів системи «гребля-основа», що володіють різними характеристиками міцності та деформативними характеристиками, а також за сейсмічного навантаження на гребні, в зонах бортових примикань нерідко можуть виникати місцеві напруження розтягу, наслідком яких є утворення тріщин розриву. Такі тріщини спостерігалися як на греблях середньої висоти (до 40 м) – Ректор-Крік, Вудкрест, Шел-Ойл, Віллард, Шек Пік, так й на високих (більш ніж 40 м) – Черрі-Веллі, Мед Маунтін, Нотеллі, Уатауга, Саутс Холстен, Маттмарк, Раунд Ботт, Ель-Ін-фернільо та інших [13].

При дії зсувних навантажень відбувається розвиток дотичних напружень, які викликають не тільки зміну величини головних напружень, але й поворот їх вісей. У даному випадку для отримання достовірних даних про міцність і деформаційні властивості ґрунтів перспективними є випробування циліндричних трубчастих зразків на спеціально створених установках [14].

Небезпека такого явища стає особливо очевидною з аналізу аварій, які мали місце. Міжнародною комісією з великих гребель (ICOLD) [1] в 1972 році коротко описано

приблизно 500 серйозних аварій гребель (в основному з ґрунтових матеріалів). Особливо показовими стали аварії декількох невеликих гребель в результаті землетрусу Ніїгата (Японія) 16 червня 1964 (7,3 бала за шкалою Ріхтера). Дані аварії сталися не у вигляді прямого руйнування через сейсмічні поштовхи, а внаслідок фільтрації, що виникла в новоутворених тріщинах. Особливість даних аварій в тому, що вони відбулися через кілька годин (і навіть днів) після землетрусу [15].

Найбільш небезпечні за своїми наслідками надзвичайні ситуації виникають за проходження через гідротехнічні споруди понад розрахункових витрат води при занижених розмірах водоскидів. Про це свідчать матеріали Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD) [1], відповідно до яких щорічно в світі на гідровузлах відбувається близько 3 тисяч аварій. З даного числа значна кількість пошкоджень спостерігається в період проходження катастрофічних надвисоких повеней і паводків, що пов'язано з недоліками проектно-технічних рішень за пропуску екстремальних витрат, а також внаслідок недобросовісної роботи експлуатаційних служб. В результаті в період проходження великих паводків не вдається своєчасно відкрити затвори і скидання води здійснюється через гребінь греблі, що призводить до руйнування конструкцій [16].

Переливи води з водосховища через гребінь греблі можуть бути пов'язані й з чисто технічними причинами – відмовою затворів водоскидних споруд внаслідок рідкого використання, відсутності профілактики, періодичної перевірки їх експлуатаційної надійності, а також з-за припинення подачі електроенергії [17]. Якщо 35% випадків руйнування ґрунтових гребель викликано переливом води через гребінь, то третя частина з них, приблизно 12%, в свою чергу, ушкоджувалася через відмови в роботі затворного обладнання. Подібні відмови приводили до аварійних ситуацій на цілому ряді гребель. Так, через відсутність подачі електроенергії до механізмів управління затворами водозборів в 1958 році було зруйновано ділянку греблі Кадда в Індії довжиною 137 м за висоти шару води, що перелився, в 45 м.

Найбільш небезпечна форма деформації гребель пов'язана з утворенням тріщин в ядрі, так як чинники, що їх викликають, вельми різноманітні та найменш вивчені. Тому для встановлення причин їх виникнення завжди проводяться складні дослідні роботи.

Тріщини, в залежності від причин, які їх породжують, бувають поперечні та поздовжні, такі, що розташовані зовні або всередині тіла греблі. Поперечні тріщини можуть бути вертикальними, похилими й горизонтальними, а також наскрізними та локальними. Вертикальні тріщини, переважно зовнішні, утворюються на гребні греблі та поширюються вглиб тіла греблі на обмежену глибину. Вони виникають через нерівномірне осідання тіла і основи греблі [18].

Причинами утворення вертикальних тріщин можуть бути:

- сполучення греблі з не вирівняними обривистими береговими схилами, що мають різкі переломи профілю;
- значні уступи;
- наявність в основі заплавної ділянки греблі наносних відкладень, що стискаються, які дають великі осідання напроти бортових ділянок;
- неякісне виконання насипу тіла греблі, що приводить до нерівномірних осідань різних її ділянок;
- сейсмічні впливи великої сили.

Якщо вертикальні тріщини проходять нижче рівня б'єфу, то вони являють собою фільтраційну і суфозійну небезпеку і вимагають відповідних інженерних робіт [18].

Найбільш небезпечні горизонтальні поперечні тріщини, особливо наскрізні. В результаті великого осідання основи в центральній частині гребля Апішапа (США) «зависла» на крутих скельних схилах бортових ділянок, утворилася горизонтальна поперечна

наскрізна тріщина між верхньою та нижньою частинами греблі, через тріщину прорвалася вода великої руйнуючої сили й за кілька годин розмила греблю (рис. 3).



Рис. 3. Руйнування греблі Апішана, США, травень 1987 року

Менш небезпечні поздовжні тріщини, які зазвичай виникають на гребні греблі уздовж її вісі. Вони найчастіше утворюються на контактні ядра з боковими призмами або перехідними зонами окремих ділянок, іноді значної довжини, і мають глибину до декількох метрів. Поздовжні тріщини виникають частіше в греблях з ґрунтовим ядром, головним чином через різний ступінь осідання ядра та бокових призм. З огляду на те, що ґрунтове насипання ядра та кам'яне накидання за щільністю укладки зазвичай відрізняються одне від одного, поява поздовжніх тріщин у високих кам'яно-земляних греблях майже неминуче. Прикладами можуть служити вже побудовані греблі Раунд Батт (США), Маттмарк (Швейцарія), Черрі-Веллі (США), Мад Маунтін (США), Холстон (США) та інші, на гребнях яких виявлено поздовжні тріщини глибиною до 1–2 м. На греблі Раунд Батт (США) сумарна довжина тріщин становила біля 150 м. Поздовжні тріщини також можуть виникнути й на поверхні укосів та берм греблі [18].

Поверхневі тріщини виявляються візуальними спостереженнями і легко знешкоджуються тампонуванням – забиванням піщано-глинистим матеріалом іноді з домішкою силікатів, дещо рідше – способом цементації під тиском [18].

Внутрішні тріщини в тілі греблі можуть утворитися також на контактні ядра із закладеною в нього бетонною або залізобетонною конструкцією (стілкою-діафрагмою, зубом, галереєю) з огляду на досить малій стисливості бетонної конструкції в порівнянні із навколишнім ґрунтовим середовищем, що стискається [19].

Поряд з вищевикладеними міркуваннями про причини утворення тріщин також існує думка, що утворення тріщин в ядрах певною мірою залежить від показників пластичності та гранулометричного складу ґрунтів, з яких вони зведені. З аналізу 17 гребель США, на яких виявлені тріщини, вбачається, що до утворення тріщин схильні, головним чином, глинисті ґрунти з числом пластичності менш ніж 15. Неприятливі пухкі елювіальні ґрунти, в складі яких є частки з неміцних порід, таких, що легко вивітрюються [19].

Аварії гребель від суфозії можна попередити, якщо її вчасно виявити і припинити її розвиток. Для цього при будівництві в тіло греблі закладається контрольно-вимірювальна апаратура, яка сигналізує про утворення внутрішніх та поверхневих тріщин, зон посиленої фільтрації та про інші порушення нормальної роботи споруди.

Утворення тріщин можна попередити шляхом правильної оцінки компресійних властивостей ґрунтів в основі греблі, правильного вибору типу і конструкції греблі, ґрунтів для її зведення, а також належної підготовки основи [20].

З усіх тріщин найбільш небезпечні внутрішні тріщини в ядрі, тому при їх виявленні слід невідкладно організувати ретельні спостереження за розвитком фільтрації і проявом суфозії. За наявності суфозії може знадобитися повне або часткове спорощення водосховища на час ремонтних робіт, щоб уникнути подальшого розвитку суфозії. Слід зазначити,

що часто відбувається «самозалічування» дрібних тріщин, що виникають на контакті ядра з фільтрами завдяки кольматаційній здатності зв'язних ґрунтів. За належного підбору складу фільтрів перехідних зон кольматація контактних тріщин забезпечується [21].

Залежно від інтенсивності суфозії та ступеня її небезпеки «лікування» греблі може проводитися або шляхом ін'єктування в пошкоджені ділянки глиноцементного, цементного, силікатного або хімічного розчинів, або влаштуванням на верховому укосі нового проти фільтраційного екрана.

Стан і стійкість укосів ґрунтової греблі грають одну з головних ролей в забезпеченні експлуатаційної надійності та безпеки споруди. Пошкодження укосів, як правило, супроводжуються серйозними ускладненнями в роботі греблі, а в ряді випадків призводять до її аварії з важкими наслідками [22].



Рис. 4. Тріщини з вертикальним уступом по кордоні ядра з бічної призмою

Візуальними спостереженнями за укосами греблі слід виявляти ознаки втрати стійкості (оповзання) укосів, пошкодження спеціальних кріплень, наявність вимоїн і просідаючих воронки на поверхні низового укосу, пошкодження водозбірних та водовідвідних лотків, зміни обрисів укосів, ознаки вивітрювання каменю, утворення наледей на схилі.



Рис. 5. Формування оповзання на схилі греблі. Первинна тріщина відриву

Основними ознаками втрати стійкості (оповзання) укосу, що можуть фіксуватися візуально, є: утворення на поверхнях гребня, берм або схилах укосів греблі характерних для оповзання криволінійних тріщин, їх розкриття, що наростає в часі; утворення уздовж сліду тріщини вертикального уступу (просідає масив, що відокремився); збільшення розкриття тріщини й висоти уступу; поява помітного випинання ґрунту в середній та нижній частинах схилу [22].

**Висновки.** Більшість природних факторів ризику викликаються кліматичними процесами, що проявляються як у вигляді короточасних і небезпечних метеорологічних явищ (ураганів, злив, снігопадів, смерчів тощо), так і у вигляді періодично повторюваних або односпрямованих, довготривалих змін клімату.

Підвищення надійності гідротехнічних споруд і безпечна їх експлуатація неможливі без вивчення перш за все конкретних причин, що призводять до їх пошкодження або руйнування.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Міжнародна комісія з великих гребель, МКВГ (*International Commission on Large Dams, ICOLD*). URL: <https://www.icold-cigb.org/>.
2. Dams and development. The Report of the World Commission on Dams. EARTHSCAN. London and Sterling, VA. November 2000. P. 404.
3. Авакян А. Б., Полошкин А. А. Наводнения: проблемы определения ущербов и защиты. Водные ресурсы. 1991. № 4. С. 114-125.
4. Гарибин П. А., Марлей В. Е., Ольховик Е. О., Шабанов С. В. Разработка автоматизированной системы для непрерывного контроля технического состояния гидротехнических сооружений. Гидротехника XXI ВЕК. 2013. № 2 (14). С. 50-53
5. Устинов А. В. Технология спутникового геодезического мониторинга гидротехнических сооружений. Гидротехническое строительство. 2014. № 6. С. 39-43.
6. Пальченко О. Л. Еколого-економічна оцінка природо-охоронних заходів, спрямованих на відновлення водних об'єктів. Комунальне господарство міст. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. Вип. 120. с. 85-88.
7. Пальченко О. Л. Греблі і водосховища – як фактор техногенного впливу на навколишнє середовище. Науковий вісник будівництва. 2019. Т. 95. № 1. С.141-145.
8. Кузьменко А. П., Сабуров В. С., Кузьмин Н. Г., Осеев В. Г. Определение динамических характеристик плотин под воздействием землетрясений. Изв. ВНИИГ им. Веденеева. 2012. Т. 265. С.15-25.
9. Савич А.И., Бронштейн В.И. Современное состояние и пути обеспечения сейсмостойкости и гидродинамической безопасности крупных энергообъектов. Гидротехническое строительство, 2000, № 8-9. с. 60-70.
10. Малик Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. М: Наука, 2005, 354 с.
11. Носова О.Н., Александровская Э.К. К вопросу контроля за надёжностью и безопасностью эксплуатируемых гидротехнических сооружений. Метеорология и гидрология, 1999. № 1. с.21-26.
12. Калашник Н. А. Оценка надежности насыпного грунтового сооружения при образовании в его теле зоны повышенной фильтрации. Вестник КНЦ, 2013. № 1. С. 27-30.
13. Рассказов Л.Н., Сепеда В.К. К оптимизации конструкций грунтовых плотин. Гидротехническое строительство, 1990. №1. с.27-30.
14. Довгань Л.В. Деформируемость и прочность глинистых грунтов при трехосных испытаниях с учетом схем нагружения оснований: автореф. дис. на здоб. наук. ступ. к-та техн. наук: 05.23.02. Санкт-Петербург, 1993.
15. Бакиев М.Р., Хрупин Р. ОАО «Гидропроект». Сценарии аварий грунтовых плотин. «Гидротехника иншоотларининг самарадорлигини, ишончилиги ва хавфсизлигини ошириш Республика илмий-амалий конференция материаллари». Ташкент, ТИМИ, 2013. Б. 200-206.
16. Бобков С.Ф. Боярский В.М. и др. Основные факторы учёта пропускной способности гидротехнических сооружений при декларировании их безопасности. Гидротехническое строительство, 1999. № 4. с.2-9.
17. Штильман В.Б. Повышение надежности водопроводящих трактов гидротехнических сооружений на основе методов системного анализа работы затворов: автореферат дисс. на соискание ученой степени док. техн. наук. С-П., 2005. 40 с.
18. Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством (ретроспективный обзор). Журнал «Гидротехническое строительство». Москва, 2009. №12. С. 1-16.
19. Долежалова М. Влияние крутизны бортов скального ущелья на трещинообразование в глинистых ядрах каменно-земляных плотин: автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., 1968. 20 с.
20. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве. РД 34.15.073-91. Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1991. 436 с.
21. Васильев И.М., Бугров А.К., Гребнев К.К., Мельников В.А., Синяков Л.Н. Разработка методов оценки трещиностойкости ядра и устойчивости откосов каменно-земляной плотины. Отчет о НИР ЛПИ им. М.И. Калинина, № ГР 0182.6004177. Л.: ЛПИ, 1983. 53 с.
22. Причины аварий и повреждений плотин и их предупреждение. URL: <http://engineering-systems.ru/proektirovanie-kamennno-zemljanih-plotin/prichini-avariy.php>.

REFERENCES:

1. Mizhnarodna komisiia z velykykh hrebel, MKVH (*International Commission on Large Dams, ICOLD*). URL: <https://www.icold-cigb.org/>. (in Ukrainian)
2. Dams and development. The Report of the World Commission on Dams. EARTHSCAN. London and Sterling, VA. November 2000. p. 404.
3. Avakian A.B., Poliushkyn A.A. Navodneniya: problemy opredeleniya usherbov i zashchyty. Vodnye resursy. 1991. № 4. pp. 114-125.

4. Harybyn P.A., Marlei V.E., Olkhovyyk E.O., Shabanov S.V. Razrabotka avtomatyzirovannoi systemy dlia nepreryvnoho kontrolya tekhnicheskoho sostoianiya hidrotekhnicheskyykh sooruzheniy. *Hydrotekhnika XXI VEK*. 2013. № 2 (14). pp. 50-53
5. Ustynov A.V. Tekhnolohiya sputnykovoho heodezycheskoho monytorynha hidrotekhnicheskyykh sooruzheniy. *Hydrotekhnicheskoe stroytelstvo*. 2014. 6. pp. 39–43
6. Palchenko O.L. Ekoloho-ekonomichna otsinka pryrodo-okhoronnykh zakhodiv, spriamovanykh na vidnovlennia vodnykh ob'ektiv. *Komunalne gospodarstvo mist. Kharkiv: KhNUMH im. O.M.Beketova*, 2015. Vyp. 120. pp. 85-88.
7. Palchenko O.L. Hrebl'i i vodoskhovyshcha – yak faktor tekhnohennoho vplyvu na navkolyshnie seredovyshche. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. 2019. T. 95. № 1. pp.141-145.
8. Kuzmenko A.P., Saburov V.S., Kuzmyn N.H., Oseev V.H. Opredelenye dynamicheskyykh kharakterystyk plotyn pod vozdeistviem zemletriasenyi. *Yzv. VNYIH ym. Vedeneeva*. 2012. T. 265. pp.15–25.
9. Savych A.Y., Bronshtein V.Y. Sovremennoe sostoianye y puty obespecheniya seismostoikosti y hydrodynamicheskoi bezopasnosti krupnykh enerhoob'ektov. *Hydrotekhnicheskoe stroytelstvo*, 2000, № 8-9, pp. 60-70.
10. Malyk L.K. Faktory ryska povrezhdeniya hidrotekhnicheskyykh sooruzheniy. *Problemy bezopasnosti*. M: Nauka, 2005, 354 p.
11. Nosova O.N., Aleksandrovskaya E.K. K voprosu kontrolya za nadezhnostiu y bezopasnostiu ekspluatyruemykh hidrotekhnicheskyykh sooruzheniy. *Meteorolohiya y hydrolohiya*, 1999, № 1, pp.21–26.
12. Kalashnyk N.A. Otsenka nadezhnosti nasypnoho hruntovoho sooruzheniya pry obrazovany v eho tele zony povyshennoi fyltratsyy. *Vestnyk KNTs*, 2013. № 1. pp. 27-30.
13. Rasskazov L.N., Sepeda V.K. K optymyzatsyy konstruktsiy hruntovykh plotyn. *Hydrotekhnicheskoe stroytelstvo*, 1990. №1. pp.27-30.
14. Dovhan L.V. Deformyruemost y prochnost hlynistykh hruntov pry trekhosnykh yspytaniyakh s uchetom skhem nahruzheniya osnovanyi: avtoref. dys. na zdob. nauk. stup. k-ta tekhn. nauk: 05.23.02. Sankt-Peterburh, 1993.
15. Bakyev M.R., Khrupyn R. Stsenaryy avari y hruntovykh plotyn. "Hydrotekhnika ynshootlarynykh samaradorlyhyny, yshonchlylyhy va khavfsyzlyhyny oshyrysh Respublyka ylmyi-amalyi konferentsiya materyallary". Tashkent, TYMY, 2013. pp. 200–206.
16. Bobkov S.F. Boiarskiy V.M. y dr. Osnovnye faktory ucheta propusknoi sposobnosti hydrouzlov pry deklaryrovany ykh bezopasnosti. *Hydrotekhnicheskoe stroytelstvo*, 1999. № 4. pp.2-9.
17. Shtylman V.B. Povyshenye nadezhnosti vodoprovodiashchykh traktov hidrotekhnicheskyykh sooruzheniy na osnove metodov systemnoho analiza raboty zatvorov: avtoreferat dyss. na soyskanye uchenoi stepeny dok. tekhn. nauk. S-P., 2005. 40 p.
18. Malyk L.K. Chrezvychnyye sytuatsyy, svyazannyye s hidrotekhnicheskym stroytelstvom (retrospektyvnyi obzor). *Zhurnal «Hydrotekhnicheskoe stroytelstvo»*. Moskva, 2009. №12. pp. 1-16.
19. Dolezhalova M. Vlyaniye krutyzny bortov skalnoho ushchelia na treshchynooobrazovanye v hlynistykh yadrah kamlenno-zemlianykh plotyn: avtoreferat dyss. na soyskanye uchenoi stepeny kand. tekhn. nauk. M., 1968. 20 p.
20. Rukovodstvo po heotekhnicheskomu kontrolyu za podgotovkoi osnovanyi y vozvedenyem hruntovykh sooruzheniy v enerhetycheskom stroytelstve. RD 34.15.073-91. L.: VNYIH ym. B.E. Vedeneeva, 1991. 436 p.
21. Vasylev Y.M., Buhrov A.K., Hrebnev K.K., Melnykov V.A., Syniakov L.N. Razrabotka metodov otsenky treshchynostoikosti yadra y ustoichyvosty otkosov kamlenno-zemlianoi plotyny. *Otchet o NYR LPY ym.M.Y.Kalynyna*, № HR 0182.6004177. L.: LPY, 1983. 53 p.
22. Prychyny avari y povrezhdeniy plotyn y ykh preduprezhdenye. URL: <http://engineeringssystems.ru/proektirovanie-kamlenno-zemljanih-plotin/prichini-avariy.php>.

**Boyko T.K., Palchenko O.L. ANALYSIS OF ACCIDENTS OF STONE-EARTH DAMS AND THEIR PREVENTION.** The article deals with the consideration and classification of various causes and risk factors of emergencies at hydraulic facilities. Dam-related disasters occurred in different countries around the world were listed. It was noted that the significant number of damages are observed during the period of catastrophic ultra-high floods and high water, which is related to the lack of design and engineering solutions when handling large water flow quantities, as well as due to the poor performance of operational services. The factors affecting the reliability and safety of the dams in operation were established, and the quality problems arising under erection of water-retaining earth structures were considered.

**Key words:** earth dams, dam accidents, crack formation, stability, filtration.