

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-179-185

УДК 626/627

Пальченко О.Л.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: oleg_palchenko@yahoo.com;
orcid.org/0000-0002-3809-3148)*

АНАЛІЗ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ГРАВІТАЦІЙНИМИ БЕТОННИМИ ГРЕБЛЯМИ

Гравітаційні бетонні греблі на скельних основах є в цілому досить надійними спорудами. Але за можливими наслідками аварій і пошкоджень вони є об'єктами з вельми високим ступенем технічної, економічної, екологічної та соціальної відповідальності. У зв'язку з цим оцінка надійності цих споруд є досить актуальною задачею. У статті детально розглянуто та класифіковано різноманітні причини й фактори ризику надзвичайних ситуацій на підпірних гідротехнічних об'єктах. Розглянуто причини катастроф, які сталися в різних країнах світу, що пов'язані з пошкодженням або руйнуванням гравітаційних бетонних гребель. Розглянуто чинники, що впливають на надійність і безпеку бетонних гребель, що експлуатуються.

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

Вступ. За даними Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD) [1] в даний час з загальної кількості великих гребель, які знаходяться в експлуатації, приблизно 40% є бетонними. І лише 18 відсотків з них мають своєю основною метою вироблення електроенергії. Проте, усі 44 водосховища з найбільшою у світі ємністю мають гідроенергетичний компонент [2].

Як показала статистика [3], бетонні греблі приблизно в 3 рази є більш надійними, ніж кам'яно-земляні, аварії на яких в більшості випадків сталися в наслідок переливу води через їх гребінь [4,5].

Актуальність и постановка проблеми. Катастрофічні аварії за всю історію експлуатації підпірних споруд спостерігалися в багатьох як розвинених країнах, так і в країнах, що розвиваються. Найбільш небезпечний ризик аварій і катастроф на великих екологічно вразливих об'єктах, до яких відносяться багато водогосподарських споруд (греблі і водосховища, дамби, перемички, тунелі, канали, берегозахисні та огорожувальні споруди та ін.). Усі вони у різних поєднаннях входять до складу гідровузлів [5].

Багато з гідротехнічних споруд експлуатуються десятки, сотні й навіть тисячі років і зарекомендували себе в цілому стійкими спорудами. Досить згадати Китай і Єгипет, інженери-гідробудівельники яких мають досвід будівництва гребель, що обчислюється тисячоліттями [6].

Але більшість гребель все ж таки побудовано сучасними методами, на основі сучасних проектів. І світова статистика, і події останніх десятиліть свідчать про те, що існує певна можливість пошкоджень і руйнувань гідровузлів. Більш того, ймовірність аварій на гідроспорудах має тенденцію зростання, особливо після періоду їх експлуатації, який перевищує 30-40 років.

Аналітичний огляд літературних джерел. Аналізуючи причини виникнення аварійних ситуацій на гравітаційних греблях, які мали місце в світовій практиці, можна відзначити, що 30% аварій виникало через руйнування в основах гребель, 15% – через порушення в технології зведення і недостатню якість матеріалу гребель з кам'яної кладки, 20% – через напір на споруду, що перевищує розрахунковий, а решта – з різних причин, в тому числі, в наслідок недостатньої несучої здатності самої греблі (через проектні помилки).

На гравітаційних бетонних греблях руйнувань внаслідок низької якості бетону або наявності в ньому швів практично не спостерігалось (для 3000 гребель) [7].

Із загальної кількості бетонних гравітаційних гребель за різними оцінками зруйнувалося не більше 2% від загального числа побудованих споруд. Причому, в основному зруйнувалися греблі, побудовані до 1950 року, але не зруйнувалася жодна з 2500 гребель,

побудованих пізніше. Як правило, розрізняють аварії в період першого наповнення і аварії за тривалої експлуатації. Руйнування під час наповнення водосховища і в перші роки експлуатації в основному пов'язано з помилками під час проектування та будівництва. Причинами руйнування за тривалої експлуатації можуть з'явитися понад розрахункові впливи на греблю (катастрофічні сейсмічні навантаження, катастрофічний паводок, що виникає внаслідок зливових дощів та інших причин і т.п.).

В літературі [9-20] наведено безліч даних про аварії та руйнування на бетонних греблях та греблях з кам'яної кладки, а також дається детальний аналіз причин цих аварій. Можна помітити, що переважна кількість аварій і пошкоджень бетонних гребель було пов'язано або з надзвичайними зовнішніми впливами, або з проектними помилками та недоліками досліджень.

Як свідчать дані про надзвичайні події на бетонних греблях на скельних основах, що експлуатуються у даний час, переважна більшість відмов і пошкоджень даних споруд протягом останніх 100 років відбувалася внаслідок небажаних процесів, що відбуваються саме в основах. Розглянемо деякі приклади таких подій [9-20].

Аварія, що пов'язана з неврахуванням протитиску – аварія гравітаційної греблі з кам'яної кладки на вапняному розчині Тигра на р. Санк (Індія). Гребля мала висоту 26,72 м і довжину 1360 м. Основна частина греблі була побудована в 1914 році. Під час наповнення водосховища в тілі греблі було помічено тріщини. У 1917 році під час пропуску паводку стався перелив води через гребінь по всій довжині греблі, а потім стався зсув ділянки центральної частині греблі довжиною 400 м, який був повністю знесений водою.

Катастрофа, пов'язана з відсутністю кріплення дна нижнього б'єфу, сталася на бетонній гравітаційній греблі Зербіно (Італія). Дана допоміжна гребля висотою 16,5 м і довжиною по гребню 72 м була побудована в 1930 році для перекриття бічної сідловини водосховища ГЕС Моларе. Незважаючи на те, що мав місце гідрологічний ряд спостережень за витратами з 1900 року, в 1935 році після 11 років нормальної експлуатації греблі сталася несподівана за силою і тривалістю злива, яка викликала понад розрахунковий паводок інтенсивністю 2200 м³/с (повторюваністю 1 раз в 500000 років, при розрахунковому паводку 800–900 м³/с). Стався перелив через гребінь греблі шаром 2,2 м, в результаті чого відбулося розмивання неукріпленої основи нижнього б'єфу греблі на глибину до 20 м. Внаслідок цього спочатку втратила стійкість і обрушилася крайня ліва частина греблі, а потім вода, що ринула в утворений проран, знесла всю іншу частину греблі. Під час катастрофи загинуло 130 осіб. У той же час, головна гребля гідровузла Орба Торрент, де було виконано кріплення в нижньому б'єфі, благополучно перенесла паводок.

Відомо, що сейсмічний фактор має велике значення під час розгляду моделей відмов великих гребель. Є відомості про події на бетонних греблях, що сталися в результаті сейсмічних впливів.

Так, залізобетонну греблю Понтеба висотою 10 м на річці Шеліф в Алжирі, що було побудовано у 1870 році, в результаті катастрофічного 9-ти бального землетрусу, що стався у 1954 році, було розірвано, при цьому її південну ділянку було зміщено на 55 см щодо решти її частини в результаті зсуву.

Руйнування, які пов'язано з катастрофічним 10-ти бальним землетрусом, було відзначено на бетонній гравітаційній греблі Каньйон дель Пато висотою 20 м і довжиною 35 м на річці Санта (Перу). У результаті землетрусу від гори було відірвано величезний скельний масив. Лавина скельних уламків, що в міру наближення до річки перетворювалася в брудокам'яний потік, зруйнувала греблю біля вхідного порталу тунелю підземної ГЕС.

Можна також відзначити випадок серйозних ушкоджень внаслідок сейсмічного впливу гравітаційної греблі з укоченого бетону. Греблю Ши-Канг на річці Тача (Тайвань)

висотою 25 м було пошкоджено в результаті землетрусу магнітудою до 7,6 в 1999 році. В результаті землетрусу стався розрив у зоні тектонічного розлому в основі греблі, внаслідок чого все її ліве крило було зрушено на 6 м поперек створу і на 2 м в нижній б'єф. Зазначений розлом не було виявлено ні під час проектування, ні під час будівництва споруди. На греблі було виконано ремонтні роботи, в ході яких було законсервовано зміщення секцій, відремонтовано пошкоджені елементи споруди та відновлена її працездатність.

Бетонну гравітаційну греблю Комора (Японія) висотою 16 м було побудовано у 1927 році. У 1928 році поблизу примикання, де не було виконано цементацію та дренаж основи, почалася фільтрація води. Фільтруюча вода розмила розчинні вулканічні породи, внаслідок чого зруйнувалося лівобережне примикання греблі, що спричинило руйнування всієї греблі.

Бетонну арочну греблю Ланіер (США) висотою 18,9 м, довжиною по гребню між устоями 91 м було побудовано у 1925 році. Греблю було зведено на природній скелі без знімання порушених порід з влаштуванням в основі з боку верхової грані греблі зуба глибиною 1,5 м. Ширина греблі по гребню 0,3 м, в основі 3,6 м. Фільтрація через основу лівобережного устою і прилеглої до нього секції греблі почалася відразу після початку наповнення водосховища і зростала зі збільшенням напору на греблю. Під час підйому рівня верхнього б'єфу спостерігалася посилення фільтрації в основі. Після набору повного напору спостерігався значний потік води через основу лівобережного примикання, швидкість якого була достатньою для розмиву заповнювача тріщин окремих блоків породи. Розмив основи призвів до осідання устою і, через деякий час, до його обвалення. Хвилею прориву основу греблі було розмито на глибину до 8–10 м. Згодом був зведений новий устій і зруйноване примикання греблі було відновлено. В даний час гребля продовжує експлуатуватися.

Арочну бетонну греблю Вайонт поруч з горою Монте-Ток на річці Вайонт, притоці річки П'яве в провінції Беллуно на півночі Італії, побудовано у 1961 році. Гребля має висоту 261,6 м, довжину по гребню 190 м, ширину по основі 23 м і ширину по гребню, яка дорівнює 3,9 м. 9 жовтня 1963 року біля 22:39 за Гринвічем в чашу водосховища за 45 секунд обрушився гірський масив довжиною 2 км, площею 2 км² і об'ємом близько 0,2–0,3 км³, який до цього перебував в стані незначної рухливості. Чаша водосховища виявилася заповненою гірською породою до висоти 175 м над рівнем води. Зсув викликав перелив води через гребінь греблі об'ємом понад 50 млн. м³. Водяний вал, який пройшов зі швидкістю 8–12 м/с по нижче лежачим територіям, мав висоту до 90 м. З моменту виникнення зсуву до повного руйнування об'єктів в нижньому б'єфі пройшло всього 4 хвилини. Основними причинами, що викликали зсув, вважаються: підняття горизонту ґрунтових вод у долині, викликане будівництвом греблі, та тривалі дощі влітку 1963 року. Гребля встояла, хоча і зазнала навантаження, що в кілька разів перевищило розрахункове. Аварія забрала життя 2118 чоловік [21].

Бетонну арочну греблю Мальпасе (Франція) висотою 66,5 м, довжиною по гребню 222 м з об'ємом водосховища 51 млн. м³ зведено на гнейсах, що мають падіння пластів в нижній б'єф під кутами від 30 до 50°. Детальних досліджень і вивчення властивостей порід основи в даному створі не проводилося. Протифільтраційна завіса в основі проектом не передбачалася. Цементацію контактної зони бетон-скеля було виконано на глибину 5 м.

Будівництво циліндричної арочної греблі було закінчено у 1955 році. Наповнення водосховища почалося ще до закінчення будівництва в 1954 році і виконувалося повільно. В процесі заповнення водосховища одні раз на рік в період постійного рівня води вимірювалися переміщення арки нівелюванням по реперам, встановленим на низовій грані греблі.

За кілька тижнів до катастрофи в бетонній плиті днища гасителя водозливу з'явилися тріщини, спрямовані уздовж русла. 2 грудня 1959 року в 20 годин доглядач, який перебував на греблі для відкриття водоскиду, звернув увагу на тріщини в бетонній плиті гасителя і фільтрацію води через ґрунт на позначці 80 м, джерело якої знаходилося в 20 м від низової грані греблі на правому березі. У 21 годину 2 грудня споруда зруйнувалася. Свідки, які були в 1500

м нижче греблі на правому березі, відзначили спочатку сильний землетрус, уривчастий гуркіт грому, сильну повітряну хвилю, після чого спочатку з'явилася хвиля води, що вийшла за межі русла, а потім потік хвилі прориву. У створі біля селища Фрежюс, розташованому на відстані 12 км від греблі, через 20 хв після руйнування греблі глибина потоку склала 3 м. У результаті аварії загинуло 423 людини (за офіційними даними), матеріальні збитки в два рази перевищили всі витрати на будівництво греблі та склали 68 млн. доларів.



Рис. 1. Гребля Мальпассе (Франція) після руйнування, 1959 рік. Фото: wikipedia.org

Комісії, які розслідували причини аварії, встановили, що руйнування почалося на лівому березі і було викликано фільтраційним протитиском, діючим на площину в скельній основі, складеною шаруватими гнейсами, що стикається із стародавнім тектонічним порушенням шириною до 80 см і глибиною до 15 м, заповненим глинистою породою і яке виходить на поверхню в 30 м в нижньому б'єфі. В результаті дії неврахованих в проекті навантажень зусилля в лівобережному устої греблі, що передаються верхніми арками, майже в 2 рази перевищили проектні значення. Внаслідок цього сталася аварія, в результаті якої було повністю зруйновано лівобережне примикання, в правобережному примиканні утворилися розриви скельної основи.

Гравітаційну греблю Сен Френсіс на річці Сан Франціскіто в Каліфорнії (США) висотою 62,5 м, шириною по основі 51,5 м, довжиною по гребню 186 м було виконано криволінійною в плані з радіусом 150 м. Основу на лівому березі та в середній частині каньйону представлено сланцями, на правому – конгломератами. До зони контакту сланців і конгломератів був приурочений розлом, що тягнеться уздовж каньйону і є оперенням розлому Сан-Андреас.

Проектом виконання цементації основи не передбачалося, а дренаж основи був виконаний тільки в центральній незруйнованій частині греблі, що зберіглася. Наповнення водосховища було розпочато ще до закінчення будівництва греблі з березня 1926 року. До березня 1928 року наповнення водосховища було повністю закінчено. З самого початку наповнення водосховища в основі греблі було зафіксовано фільтрацію з витратою 56 л/с. З плином часу фільтраційна витрата зростала, але вода при цьому була чистою. За день до катастрофи греблю було оглянуто головним інженером, який не виявив ніяких дефектів в споруді. У той же час автоматичний вимірник рівня показував серйозне зниження рівня водосховища, витрата фільтрації за добу зросла з 0,45 м³/с до 2,1 м³/с. Так, автоматичний самописець рівня, встановлений на центральній частині греблі, що зберіглася, зафіксував за 40 хвилин до аварії зменшення обсягу води у водосховищі на 228 тис. м³, а за п'ять хвилин до руйнування була зафіксована витрата витоків в 425 м³/с. Руйнування греблі відбулося вночі 13 березня 1928 року, загинула 421 особа, збитки від дії хвилі прориву склали 150 млн. доларів (в цінах 1975 року) і в 10 разів перевищили вартість споруди. За висновком фахівців, які брали участь у розслідуванні аварії, причиною її послужила слабка основа правобережного примикання і зменшення

міцності конгломератів під дією гідростатичного тиску. Істотний вплив на руйнування ліво-бережного примикання, складеного з міцних сланців, внесла будова порід на ділянці примикання, які мали сланцюватість паралельно схилу.

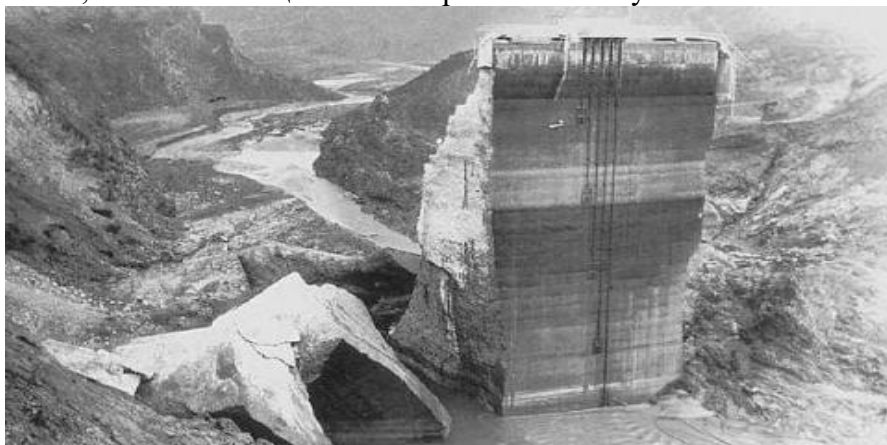


Рис. 2. Руйнування греблі Сент-Френсіс, Каліфорнія, США, 1928 рік

Аналізуючи причини аварії, К. Терцагі уточнив існуючу формулу для визначення сили протитиску, ввівши в неї коефіцієнт ефективної площі передачі протитиску $\alpha_2 = 1$, замість значення, що використовувалося раніше для різних скельних основ – 0,75-1,0. Таким чином, недоврахування властивостей скельної основи даної греблі призвело надалі до обваження конструкції бетонних гребель на будь-яких типах основ.

Слід зазначити, що такі катастрофи, як аварія греблі Мальпасе, руйнування гребель Вега де Терра, Вайонт, послужили поштовхом до вивчення скельних масивів основ гідротехнічних споруд, призвели до повсюдного введення в гідротехнічну практику польових випробувань, які істотно розширюють уявлення про реальні умови роботи системи «гребля – основа», і дозволяють отримати показники, які більш вірогідно відображають властивості скельних основ.

З введенням в практику досліджень польових досліджень постало питання про відповідність умов польових випробувань натурним випробуванням та про перенесення даних досліджень на обмеженому масиві на всю основу споруди. Вирішальну роль для призначення достовірних значень розрахункових показників має вибір необхідних обсягів польових досліджень. Мабуть, вони повинні за певних умов наблизитися до аналогічного обсягу випробувань бетону греблі.

Розуміння того, що накопичення пошкоджень є передвісником руйнування, необхідність зіставлення фактичних і проектних даних по поведінку споруди під навантаженням, призвело до широкого впровадження натурних спостережень на гідротехнічні споруди, які ще будуються, та на які вже експлуатуються. Особливо широко воно увійшло в практику досліджень з початком будівництва високих гребель в 50-х роках ХХ століття. Питання методики натурних досліджень, результати спостережень, питання оснащення споруд контрольно-вимірною апаратурою розглядаються майже на кожному Міжнародному Конгресі по великим греблям.

Аналізуючи дані про аварії, руйнування та відмови, що мали місце в практиці будівництва та експлуатації гравітаційних бетонних гребель можна зробити висновок, що переважна кількість серйозних інцидентів сталася на досить ранніх етапах розвитку гідротехніки (приблизно до середини ХХ ст.), коли будівництво високих гребель тільки почало розвиватися. Існуючі дані пов'язані найбільшою мірою з помилками в проектуванні споруд і технології їх зведення зважаючи на недостатність інженерних і наукових знань про такі об'єкти, відсутність досвіду їх будівництва та експлуатації.

Найбільша кількість інцидентів на бетонних греблях виникла через неврахування властивостей основ гребель під час проектування, неефективності (або відсутності)

протифільтраційних рішень, неврахування фільтраційного протитиску по контакту греблі і основи та інших. Більшість негативних явищ пов'язано з підвищеною фільтраційною проникністю скельної основи. До них відносяться аварійні ситуації, зафіксовані на греблях Хелс Бар, Логан Мартін, Грет Фалс, Пурди, Волф Крік (всі США), Кельнбрайн (Австрія), Бувант (Франція), Контерас (Іспанія), Таларн (Іспанія), Авон (Австралія), Вер-нон Хупер (ПАР). Сюди ж відносяться інциденти, які пов'язані із підвищеним протитиском в основах бетонних гребель (Боулдер (США), Глендевен (Англія), Непеан (Австралія) та ряді інших). Також мали місце порушення, які пов'язані з понад розрахунковим напором на споруду (включаючи випадки переливу через гребінь), недостатньою якістю матеріалу греблі, в тому числі, через недостатню несучу здатність самої греблі (через проектні помилки).

Характерні приклади руйнування гребель від надзвичайних зовнішніх впливів – це катастрофи на греблях Аустін (США), Зербіно (Італія), Тигра (Індія), що відбулися в результаті надзвичайних паводків. Також заслуговують бути особливо відзначеними події на бетонних греблях в результаті сейсмічних впливів, такі як аварії на греблях Понтеба (Алжир), Каньйон дель Пато (Перу), Ши-Канг (Тайвань). Ряд серйозних подій стався під час наповнення водосховищ. До них відносяться аварії на греблях Байлес (США), Сент Френсіс (США), Ланіер (США), Мальпассе (Франція). У ряді випадків зіграло значну роль явище збудженої сейсмічності. Найбільш серйозні інциденти, які пов'язані з даним явищем, відбулися на греблях Сінфинцзян (Китай) і Койна (Індія). Серйозні проблеми в процесі тривалої експлуатації було пов'язано з недооцінкою впливу температурних впливів. В першу чергу тут слід зазначити пошкодження греблі Деніел Джонсон (США).

Висновки. На підставі вивчення причин і характеру отриманих греблями ушкоджень були істотно змінені нормативні документи щодо їх проектування. Таким чином, незважаючи на те, що гравітаційні бетонні греблі на скельних основах є в цілому досить надійними спорудами, за можливими наслідками аварій і пошкоджень вони є об'єктами з вельми високим ступенем технічної, економічної, екологічної та соціальної відповідальності. У зв'язку з цим оцінка надійності даних споруд є досить актуальною задачею.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Міжнародна комісія з великих гребель, МКВГ (International Commission on Large Dams, ICOLD). URL: <https://www.icold-cigb.org/>.
2. Berga L. Dams for sustainable development. Paper presented at High-level International Forum on Water Resources and Hydropower, Beijing, 2008.
3. Dams and development. The Report of the World Commission on Dams. EARTHSCAN. London and Sterling, VA. November 2000. P. 404.
4. Zhang L. M., Xu Y., Jia J. S. Analysis of earth dam failures - A database approach. SGSR2007 First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk. Oct. 18~19, 2007 Shanghai Tongji University, China.
5. Бойко Т.К., Пальченко О.Л. Аналіз аварій кам'яно-земляних гребель та їх попередження. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2020. №3. Т. 101. с. 86-93.
6. Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством. Ретроспективный обзор. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/malik1.pdf>.
7. Семенов А.Н. 68-й Исполком и 20-й Конгресс Международной комиссии по большим

REFERENCES:

1. Mizhnarodna komisiia z velykykh hrebel, MKVH (International Commission on Large Dams, ICOLD). URL: <https://www.icold-cigb.org/>.
2. Berga L. Dams for sustainable development. Paper presented at High-level International Forum on Water Resources and Hydropower, Beijing, 2008.
3. Dams and development. The Report of the World Commission on Dams. EARTHSCAN. London and Sterling, VA. November 2000. P.404.
4. Zhang L. M., Xu Y., Jia J. S. Analysis of earth dam failures - A database approach. SGSR2007 First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk. Oct. 18~19, 2007 Shanghai Tongji University, China
5. Boiko T.K., Palchenko O.L. Analiz avarii kamiano-zemlianykh hrebel ta yikh poperedzhennia. Naukovyi visnyk budivnytstva. Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU, 2020. Vyp. №3. T. 101. s. 86-93.
6. Malyk L.K. Chrezvychainye sytuatsyy, svyazanye s hydrotekhnicheskym stroytelstvom. Retrospektivnyi obzor. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/malik1.pdf>.

- плотинам. Гидротехническое строительство, 2001. No 4. s. 48-56.
8. Юделеви́ч А.М. Оценка надежности гравитационных бетонных плотин на скальных основаниях на этапах проектирования, строительства и эксплуатации: дисс. на соискание ученой степени док. техн. наук. Санкт-Петербург, 2017. 296 с.
 9. Гельфер А.А. Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений. ОНТИ. 1936.
 10. Уолтхэм Т. Катастрофы: неистовая Земля. / под ред. А. Н. Олейникова; пер. с англ. Т. И. Васильевой. Ленинград: Недра, 1982. 223 с.
 11. Калустян Е.С. Разрушения и повреждения бетонных плотин на скальных основаниях. М., СПб.: Научно-техническая ассоциация «Энерго-прогресс», 1997.
 12. ICOLD. Lessons from dam incidents. France. Paris, 1974.
 13. USCOLD. Lessons from dam incidents. USA. N.Y.: ASCE, 1975.
 14. Jansen R. B. Dams and Public Safety. A Water Resources Technical Publication, U.S. Department of the Interior, Water and Power Resources Service, Denver, CO. 1980
 15. ICOLD. Deterioration of dams and reservoirs. A.A. Balkema, 1984.
 16. ICOLD. Dam failures – statistical analysis. Bulletin 99. Paris. 1995.
 17. ICOLD. Design features of dams to resist seismic ground motion. Bulletin 120. 2001.
 18. ICOLD. Internal erosion of existing Dams, Levees and Dykes, and their foundations. Bulletin 164.
 19. DEFRA Environment Agency - Evidence report, Lessons from historical dam incidents: Delivering Benefits through evidence. August 2011.
 20. Судаков В.Б., Марчук А.Н., Епифанов А.П. Особенности строительства и эксплуатации бетонных плотин в районах с суровым и особо суровым климатом. СПб.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2014.
 21. Орлов А.В. Оценка рисков гидросооружений. ООО «РискТЭКонсалт». URL: http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/orlov_presentation_ru.
 7. Semenov A.N. 68-y Yspolkom y 20-y Konhress Mezhdunarodnoi komyssey po bolshym plotynam. Hydrotekhnicheskoe stroytelstvo, 2001, No 4. s. 48-56.
 8. Yudelevych A.M. Otsenka nadezhnosti hravytatsyonnykh betonnykh plotyn na skalnykh osnovaniyakh na etapakh proektyrovaniya, stroytelstva y ekspluatatsyy: dyss. na soyskanye uchenoi stepeny dok. tekhn. nauk. Sankt-Peterburh, 2017. 296 s.
 9. Helfer A.A. Prychyny y formy razrusheniya hidrotekhnicheskyykh sooruzheniy. ONTY, 1936.
 10. Uoltkhem T. Katastrofy: neystovaia Zemlia / pod red. A. N. Oleinykova; per. s anhl. T. Y. Vasylevoi. Lenynhrad: Nedra, 1982. 223 s.
 11. Kalustian E.S. Razrusheniya y povrezhdeniya betonnykh plotyn na skalnykh osnovaniyakh. M. SPb.: Nauchno-tekhnicheskaya assotsyatsiya «Enerho-prohress», 1997.
 12. ICOLD. Lessons from dam incidents. France. Paris, 1974.
 13. USCOLD. Lessons from dam incidents. USA. N.Y.: ASCE, 1975.
 14. Jansen R. B. Dams and Public Safety. A Water Resources Technical Publication., U.S. Department of the Interior, Water and Power Resources Service, Denver, CO, 1980
 15. ICOLD. Deterioration of dams and reservoirs. A.A. Balkema, 1984.
 16. ICOLD. Dam failures – statistical analysis. Bulletin 99. Paris. 1995.
 17. ICOLD. Design features of dams to resist seismic ground motion. Bulletin 120. 2001.
 18. ICOLD. Internal erosion of existing Dams, Levees and Dykes, and their foundations. Bulletin 164.
 19. DEFRA Environment Agency - Evidence report, Lessons from historical dam incidents: Delivering Benefits through evidence. August 2011.
 20. Sudakov V.B., Marchuk A.N., Epyfanov A.P. Osobennosty stroytelstva y ekspluatatsyy betonnykh plotyn v raionakh s surovym y osobo surovym klymatom. SPb.: ОАО «VNYYH im. B.E.Vedeneeva», 2014.
 21. Orlov A.V. Otsenka ryzkov hydrosooruzheniy. OOO «RyskTEKonsalt». URL: http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/orlov_presentation_ru.

Palchenko O.L. ANALYSIS OF EMERGENCIES RELATED TO GRAVITY CONCRETE RAKES. Mass concrete dams on rocky foundations are generally very reliable structures. But in terms of the possible consequences of accidents and damages, they represent objects with a very high degree of technical, economic, environmental and social responsibility. In this regard, the assessment of the reliability of these structures is a very relevant task. The article discusses in detail and classifies various causes and risk factors of emergency situations at retaining hydraulic structures. The causes of catastrophes occurred in different countries and related to the damage or destruction of mass concrete dams were considered. The factors influencing the reliability and safety of concrete dams in operation were considered.

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