



Гапіч Г. В., к.т.н. (Дніпровський державний аграрно-економічний університет; м. Дніпро)

## **АНАЛІЗ ПРИЧИН ГІДРОДИНАМІЧНОЇ АВАРІЇ НА ҐРУНТОВИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУДАХ КАСКАДУ ШТУЧНИХ ВОДОЙМ**

**Представлені результати обстеження та аналіз причин виникнення гідродинамічної аварії на ґрунтових дамбах каскаду штучних водойм. Встановлені основні причини і фактори, які призводять до виникнення аварійних ситуацій і відмов у роботі гідротехнічних споруд за сучасних умов експлуатації. Запропоновані підходи щодо попередження руйнувань ґрунтових ГТС шляхом своєчасної діагностики їх технічного стану, що надасть можливість виявляти небезпечні та потенційні зони прориву на стадії їх формування.**

**Ключові слова:** гідродинамічна аварія, гідротехнічна споруда, ґрунтова дамба, штучна водойма.

**Постановка проблеми.** Об'єктивно та історично склалося, що вирішення багатьох водогосподарських завдань у зонах нестійкого та недостатнього зволоження пов'язане з використанням місцевого стоку, який акумулюють в невеликих водосховищах і ставках. За даними А.В. Яцика [1], до 1950 р. загальна площа штучних водойм не перевищувала 100 тис. га, а їх повний об'єм 1,4 км<sup>3</sup>, тобто було зарегульовано не більше 3% річкового стоку України. На сьогодні на території країни побудовано 1094 водосховища площею 2637 км<sup>2</sup> і загальним об'ємом 8,4 км<sup>3</sup>, а також 27579 ставків з площею водного дзеркала 2120 км<sup>2</sup> і об'ємом води у 3,0 км<sup>3</sup>, які і надалі продовжують функціонувати.

Слід відзначити, що на сьогодні значна кількість ставків занедбані, а гідротехнічні споруди (ГТС) на них знаходяться в незадовільному технічному стані. Невизначеність щодо їх балансоутримувачів, відсутність коштів на поточні та капітальні ремонти, моніторинг технічного стану та обслуговування, фактично призвели до ситуації переходу їх в розряд екологічно небезпечних об'єктів. Не дотримується чинне законодавство та Водний кодекс України, що регламентують межі прибережних захисних смуг (ПЗС), відсутні технічні паспорти водних об'єктів. За даними [1], безсистемне, часто не узгоджене із загальним водогосподарським планом створення ставків і водосховищ на малих річках виконувалось, як правило, на низькому

інженерно-технічному рівні. Будівництво проведено, в основному, силами господарств за спрощеною проектною документацією або навіть без неї. Греблі і дамби, зведені з місцевих ґрунтових матеріалів, мають низьку якість будівельно-монтажних робіт, а водоскидні споруди змонтовані без належних гідрологічних розрахунків на пропуск паводкових та дощових вод. На сьогодні за своїм технічним станом і капітальністю, а ні дамби, а ні водоскиди, не відповідають сучасним вимогам безпеки та експлуатаційної надійності [2-3]. Перешкоджає регулюванню та раціональному використанню річкового стоку також те, що переважна більшість ставків (83%) мають площу водного дзеркала до 5 га і глибину до 1,5 м. Внаслідок недбалої господарської діяльності та значної розораності самовільно захоплених земельних ділянок майже до урізу води, ставки та водосховища забрудненні біогенними речовинами, пестицидами, неочищеними промисловими стоками. Ґрунти, змиті з прилеглих сільськогосподарських угідь, замулюють водойми, зменшуючи глибину та корисні об'єми води, що, як наслідок, призводить до цвітіння влітку та заростання очеретяною рослинністю перетворюючи річкові екосистеми на болотні угіддя.

Внаслідок перелічених вище факторів, за дослідженнями авторів [4], на Україні зникло або завдано непоправної шкоди 8 тисячам річок. Це складає близько 13% від їх загальної кількості. Зважаючи на те, що вода є лімітуючим чинником розвитку різних галузей господарства і водночас національним багатством, така динаміка є катастрофічною. Втрачаються не лише водотоки та річкові екосистеми, а й підвищується рівень екологічної небезпеки територій, на яких вони розташовані. Так, відмови у роботі або прориви ГТС несуть загрозу не лише життю та здоров'ю людей, а також об'єктам господарювання, що розташовані нижче за течією.

**Мета та задачі дослідження.** Метою та завданням дослідження є визначення причин і факторів, що ведуть до відмов і аварій гідротехнічних споруд. На основі аналізу встановлених закономірностей запропонувати способи діагностики технічного стану ґрунтових ГТС, що дозволяють виявляти небезпечні та потенційні зони прориву на стадії їх формування.

**Результати дослідження.** Дослідження проведені на ставках поблизу села Адамівка Криничанського району Дніпропетровської області. Зведені вони на невеликому водотоці довжиною приблизно 2,5 км. Струмок дуже малий і пересихає влітку, тому немає власної назви. Сформований ним яр у верхів'ї і більш полого, широке русло у гирлі, є лівою притокою річки Базавлук. На річці, яка тече в межах населеного пункту, побудовано водосховище. По греблі прокладена траса «Е-50» з твер-

дим асфальтовим покриттям. Водосховище активно використовувалось для зрошення полів та сільськогосподарських угідь місцевим населенням, слугувало місцем вилову риби та відпочинку селян (рис. 1, а). Після припинення поливів наприкінці 90-х років, насосну станцію і зрошувальний трубопровід було демонтовано. Внаслідок відсутності водозабору різко зменшився водообмін. З роками водосховище почало замулюватись, заростати очеретяною рослинністю тощо.

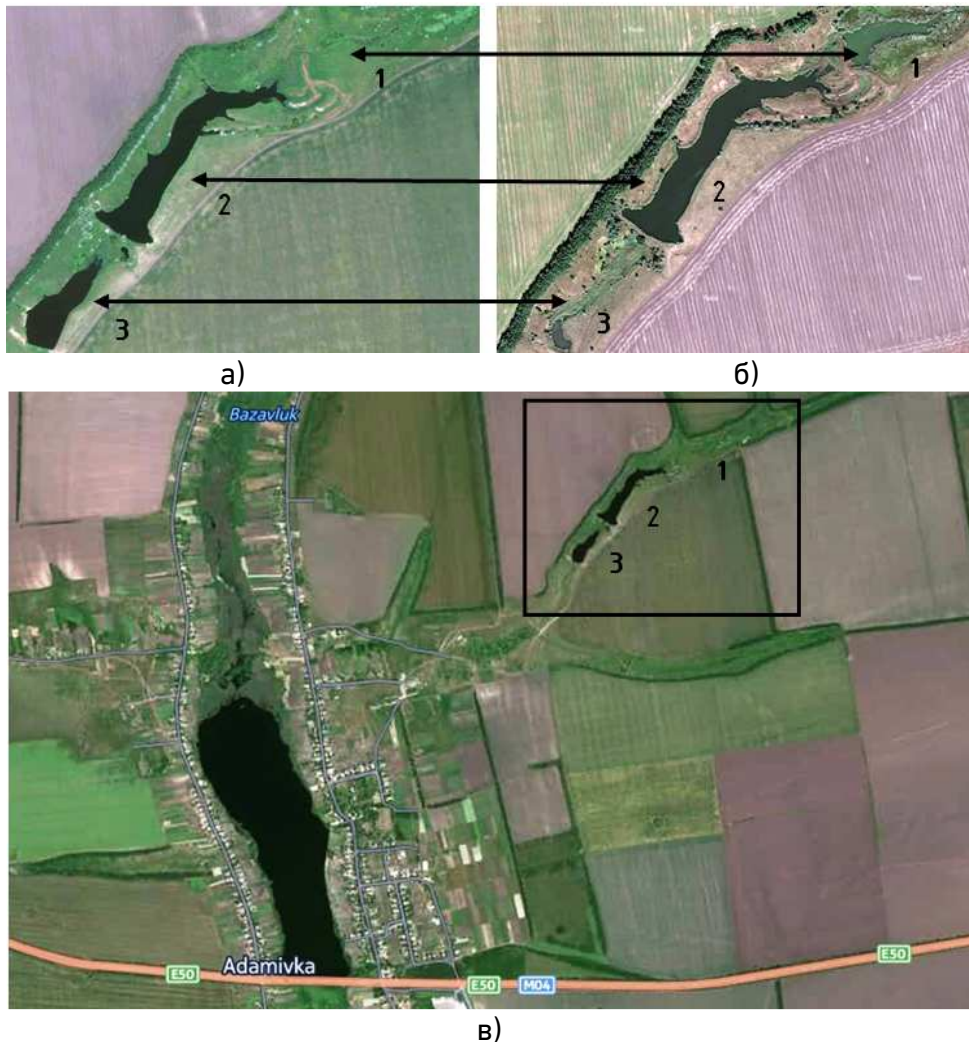


Рис. 1. Супутникові знімки території з розташуванням об'єктів досліджень: загальна ситуаційна обстановка (в) знімок із супутника «Here»; каскад ставків – знімок із супутника «Here» (а) та супутника «Яндекс» (б); 1, 2, 3 – номери ставків у каскаді

Оренда водойми і подальше зариблення з метою промислового

виращування риби також мала негативний характер. За рахунок потрапляння надмірної кількості відходів зерна та іншої кормової бази, що використовувалась для годівлі риб, відбулось активне забруднення водосховища біогенними речовинами та продуктами їх розпаду. На сьогодні, фактично, водойма не використовується повноцінно для рекреації, тому що купання є небезпечним для здоров'я, а вилов риби заборонений.

Таким чином, основна увага населення перемістилась до менших водойм, що розташовані в невеликих ярах і долинах тимчасових водотоків. Перевагою їх стала близькість ґрунтових вод, за рахунок яких постійно відбувалось поповнення і водообмін свіжою та чистою водою. Так, спочатку був зведений один ставок неподалік села (рис. 1, поз. 2). На довгі роки водойма стала місцем відпочинку та любительського рибальства населення, а також слугувала водопоєм великої рогатої худоби. Декілька років тому, проведено будівництво ще двох ставків. Спершу була відсипана дамба нижче основної водойми (рис. 1, б, поз. 3). Мета даного ставка полягала у перехопленні риби, що разом з надлишковою водою скидалась із розташованого вище. Потім зведено дамбу у верхів'ї (рис. 1, в, поз. 1). Як видно з рис. 1, відстань між ставками незначна і вони формують практично одну водойму з трьома гідротехнічними спорудами. Жодна з гідротехнічних споруд не має відповідної проектної документації щодо техніко-технологічних параметрів та гідрологічних розрахунків під час будівництва та експлуатації, а спеціальним водоскидом обладнано лише основну водойму. Загальна площа всіх ставків складає близько 1,5 га, а сумарний об'єм води – 17 тис. м<sup>3</sup>.

Зміна у часі гідрологічного режиму водойм простежується на рис. 1. Так, під час надходження води з верхів'я водотоку та підземних джерел, що мають виходи на денну поверхню, частина води перетікала до нижнього ставу. Це сприяло наповненню його водою для підтримки певного рівня (рис. 1, а, поз. 3). Після відсипки верхньої дамби (рис. 1, б, поз. 1) поверхневий стік та вода з джерел, почали акумулюватись і заповнювати ставок «№ 1» (рис. 1, б, поз. 1). Внаслідок цього основна водойма не зазнала суттєвих змін, але кількість води, що йшла на скид і поповнювала ставок «№ 3» суттєво знизилась. Водний об'єкт розташований вкінці каскаду почав міліти (рис. 1, б, поз. 3).

У лютому 2016 року, внаслідок раптового сніготанення та рясних дощів відбувся прорив всіх гідротехнічних споруд каскаду. Встановлені динаміка руйнування та причини аварії наступні. Спершу зруйновано дамбу у верхів'ї водотоку (рис. 2). Причиною стала не-

спроможність переливних труб та траншей пропустити надлишкові витрати води, що призвело до переливу води через гребінь дамби і розмиву низового укосу. Водночас велика кількість води сформувала хвилю прориву, що потрапила до середньої водойми, утворивши проран у дамбі (рис. 3). Слід відзначити, що у випадку поступового надходження води з усієї площі водозбору, водоскидні споруди мали б пропустити воду. Оскільки вода на початку була акумульована у верхньому ставку, а потім одразу (залпом) потрапила у середню водойму – це перевищило пропускну спроможність водоскиду. Не дивлячись на незначні розміри гідротехнічних споруд та об'єми накопиченої води, а також незначну відстань між дамбами (150–300 м), руйнівна енергія потоку вражає (рис. 2–4).



Рис. 2. Верхній ставок (а) каскаду (поз. 1 на рис. 1): колом обведено місце прориву дамби (в) зі сторони нижнього б'єфу; спустошене ложе водойми (б) у верхньому б'єфі

Після цього, хвиля, що потрапила до найменшого ставка, утворила проран у ґрунтовій дамбі (рис. 4). Таким чином, в короткий термін часу весь каскад штучних водойм та споруд на них був зруйнований.

Аналізуючи основні причини і фактори, що призвели до аварії, встановлені наступні закономірності. По-перше: необґрунтованість параметрів і конструкції як тіла дамб, так і водоскидних споруд. По-друге: зведення ГТС без належних гідрологічних розрахунків. По-третє: раптовість формування прорану в найслабших місцях споруд. На даний факт вказує те, що переливу води через гребні по усьому

периметру ГТС не відбувалось. Про це свідчить цілісність рослинного покриву, що закріплює гребінь та укоси споруд (рис. 2-4).

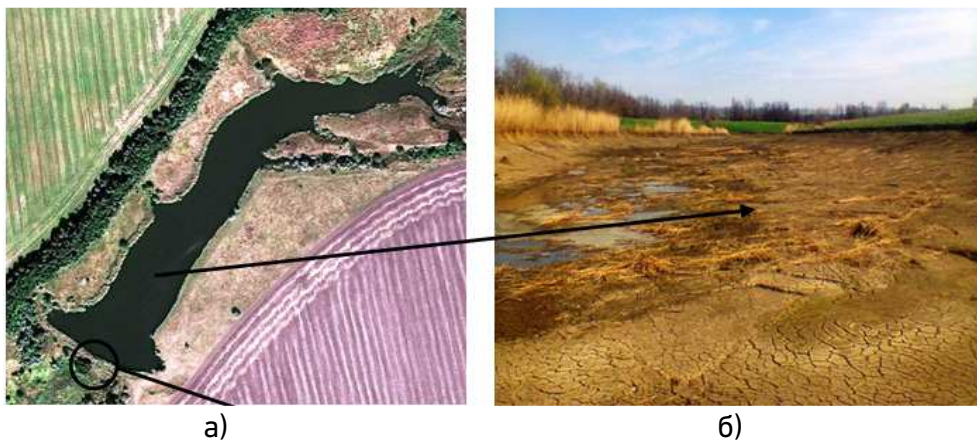


Рис. 3. Руйнування середньої дамби (а) каскаду водойм (поз. 2 на рис. 1); ложе спустошеного ставка (б); формування прорану та обвал ґрунтових мас (в) зі сторони верхнього б'єфу (висота дамби близько 6 м)

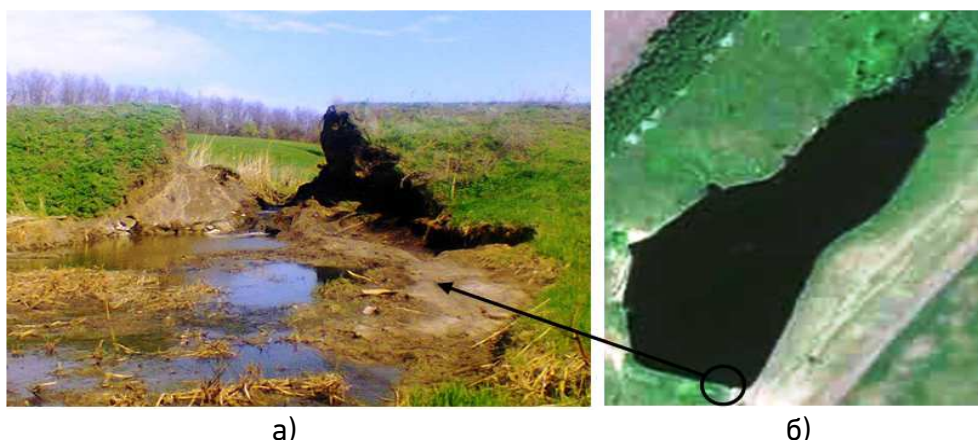
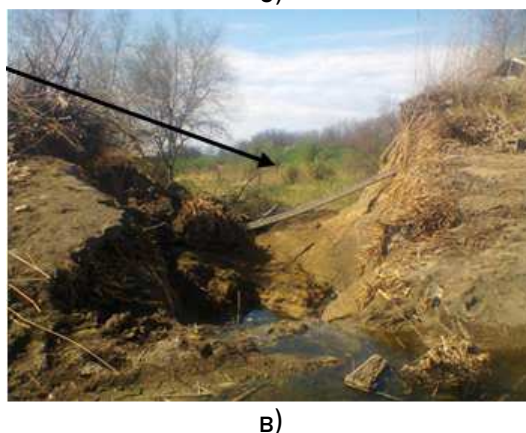


Рис. 4. Проран на ГТС (а) нижнього ставка (поз. 3, рис. 1) та загальний вигляд ставка (б); кружком обведено зона руйнування дамби

Окремо необхідно відмітити про технологію відсіпки та ґрунти,

якими складено тіло ГТС. Так, наприклад, на розрізі (рис. 5, поз. 1-2) видно, що гребінь споруди у верхній частині та тіло дамби мають прошарки чорнозему, глини і піску шаром до 0,5-0,8 м.

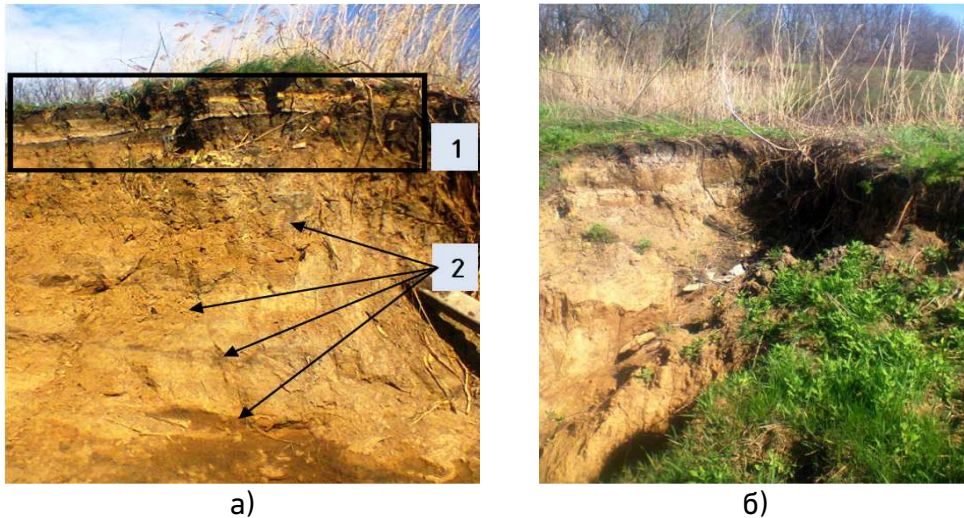


Рис. 5. Розріз ґрунтів у сформованому прорані (а), якими складено тіло ГТС та обрушення низового укосу (б) споруди (пояснення по тексту)

Наявність таких ґрунтів дозволяє воді легко їх розмивати і швидко формувати проран. Під час механічного навантаження на досліджуваному розрізі ґрунти легко піддаються руйнуванню і розсипаються. Це вказує на недостатність їх ущільнення. По зонах різного за структурою та типу ґрунтів відбуваються контактні переміщення шарів та зосереджена фільтрація води крізь тіло ГТС, про що свідчить наявний обвал ґрунту зі сторони нижнього б'єфу.

Встановлено, що сповзання укосу відбулось не за рахунок переливу води через гребінь і розмиву, адже частина його ціла а рослинність не порушена. Таким чином, можна зробити висновки, що обрушення відбулось внаслідок фільтраційних деформацій. Дана ділянка у подальшому також могла спровокувати аварію, але руйнування сталось раніше через формування прорану в центральній частині дамби (рис. 3). Таким чином, руйнування ГТС було лише справою часу.

**Висновки та обговорення.** Аналіз прориву гідротехнічних споруд, що формують каскад ставків, дозволив встановити механізм та динаміку розвитку гідродинамічної аварії. З урахуванням того факту, що переважна більшість малих річок і водотоків країни зарегульовано низьконапірними ґрунтовими дамбами, питання забезпечення їх

надійної та безвідмовної роботи є актуальним. Тривалий термін експлуатації, значні недоліки конструктивних та технологічних параметрів будівництва і відсутність належного контролю, підвищують імовірність їх руйнування. Виявити небезпечні та вразливі зони у тілі ГТС, де формуються ділянки надмірної фільтрації води, обводнення, розуцільнення ґрунту, тріщин тощо, поки вони не проявлені зовні – складно, а під час наочного їх прояву попередити аварію та вжити необхідних запобіжних заходів – недостатньо часу. Таким чином, необхідно застосовувати інструментальні методи контролю за технічним станом ГТС. Доцільність вибору методу слід обґрунтовувати на основі їх достовірності та інформативності, а також економічних затрат. Перспективними у вирішенні даного питання є геофізичні методи. Одним з тих є метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ). Даний метод [5-6] застосовано під час обстеження і діагностики технічного стану багатьох гідротехнічних об'єктів.

1. Малі річки України : довідник / А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець, Є. О. Богатов та ін. К. : Урожай, 1991. 296 с. 2. Гапич Г. В., Рудаков Л. М. Оцінювання технічного стану та пропускної спроможності водоскидів на р. Нижня Терса. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 4(76). С. 149–155. 3. Гапич Г. В. Оцінка безпеки експлуатації гідротехнічних споруд на малих річках під час проходження дощових (зливових) паводків. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 3(75). С. 98–104. 4. Сторожук В. М., Батлук В. А., Назарук М. М. Промислова екологія : підручник. Львів : Українська академія друкарства, 2005. 547 с. 5. Застосування комплексу геофізичних методів для зниження екологічного впливу штучних водних об'єктів на довкілля (на прикладі регулюючих водних басейнів) / Д. С. Пікареня, О. В. Орлінська, Г. В. Гапич, Д. А. Соломончук. *Зб. наук. праць ДДТУ*. 2013. № 3 (23). С. 143–148. 6. Пікареня Д. С., Орлінська О. В., Гапич Г. В. Визначення зон фільтрації води з регулюючих басейнів зрешувальних мереж для запобігання підтоплення території. *Вісник КрНУ ім. Остроградського*. 2013. Вип. 6/2013 (83). С. 125–129.

## REFERENCES:

1. Mali richky Ukrainy : dovidnyk / A. V. Yatsyk, L. B. Byshovets, Ye. O. Bohatov ta in. K. : Urozhai, 1991. 296 s. 2. Hapich H. V., Rudakov L. M. Otsiniuvannia tekhnichnoho stanu ta propusknoi spromozhnosti vodoskydiv na r. Nyzhnia Tersa. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2016. Vyp. 4(76). S. 149–155. 3. Hapich H. V. Otsinka bezpeky ekspluatatsii hidrotekhnichnykh sporud na malykh richkakh pid chas prokhodzhennia doshchovykh (zlyvovykh) pavodkiv. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. 80



prats. Rivne : NUVHP, 2016. Vyp. 3(75). S. 98–104. **4.** Storozhuk V. M., Batluk V. A., Nazaruk M. M. Promyslova ekolohiia : pidruchnyk. Lviv : Ukrainska akademiia drukarstva, 2005. 547 s. **5.** Zastosuvannia kompleksu heofizychnykh metodiv dlia znyzhennia ekolohichnoho vplyv shtuchnykh vodnykh ob'ektiv na dovkillia (na prykladi rehuliuuichykh vodnykh baseiniv) / D. S. Pikarenia, O. V. Orlinska, H. V. Hapich, D. A. Solomonchuk. *Zb. nauk. prats DDTU*. 2013. № 3 (23). S. 143–148. **6.** Pikarenia D. S., Orlinska O. V., Hapich H. V. Vyznachennia zon filtratsii vody z rehuliuuichykh baseiniv zroshuvalnykh merezh dlia zapobihannia pidtoplennia terytorii. *Visnyk KrNU im. Ostrohradskoho*. 2013. Vyp. 6/2013 (83). S. 125–129.

Рецензент: д.т.н., професор Ткачук М. М. (НУВГП)

---

**Hapich H. V., Candidate of Engineering (Ph.D.)**  
(Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro)

### **ANALYSIS OF THE CAUSES OF HYDRODYNAMIC ACCIDENT ON THE SOIL DAMS OF THE CASCADE OF ARTIFICIAL RESERVOIRS**

**The results of the survey and analysis of the causes of the hydrodynamic accident on the soil dams of the cascade of artificial reservoirs are presented. The main reasons and factors that lead to the emergence of emergency situations and failures in the operation of hydrotechnical facilities under the current conditions of technical exploitation and climate change are established. Analysis of the results of the research allowed to establish the following regularity: firstly – the unjustified technical parameters and design of both the body of dams and spillway's for the passage of maximum costs of rain (storm floods); secondly – the lack of design technical documentation and the construction of hydraulic structures without proper hydrological calculations; and thirdly – the sudden formation of a propane in the weakest places of dams where the areas of filtration deformations and suffusion were formed. On this fact it is indicated that the overflow of water through the crest over the entire perimeter of the dam was not occurring and additionally formed several zones of destruction from the side of the lower slope of the dam. One of the disadvantages, too, is the technology of dam construction without proper compaction of soil masses and the use of soil materials that do not meet the regulatory requirements. Soils have different physical and mechanical composition, used local materials: clay, loam, sandy**

**loam and humus. It was determined that the contact zones of soils with different properties formed potentially dangerous areas of filtration deformations, which in the future could also provoke an accident, but the destruction occurred earlier because of the formation of a propane due to the excessive amount of water with atmospheric precipitation and the melting of snow. Proposed approaches to prevent the destruction of soil hydraulic structures by timely diagnosis of their technical condition, which will enable to identify the hazardous and potential breakthrough areas at the stage of their formation.**

***Keywords:* hydrodynamic accident, hydrotechnical structure, earth dam, artificial reservoir.**

---

**Гапич Г. В., к.т.н.** (Днепровский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепр)

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ НА ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ КАСКАДА ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ**

**Представлены результаты обследования и анализ причин формирования гидродинамической аварии на грунтовых плотинах каскада искусственных водоемов. Установлены основные причины и факторы, которые приводят к возникновению аварийных ситуаций и отказов в работе гидротехнических сооружений в современных условиях эксплуатации. Предложены подходы по предупреждению разрушений грунтовых ГТС путем своевременной диагностики их технического состояния, что позволит выявлять опасные и потенциальные зоны прорыва на стадии их формирования.**

***Ключевые слова:* гидродинамическая авария, гидротехническое сооружение, грунтовая плотина, искусственный водоем.**

---