

- ук. праць. – Кривий Ріг : ДП «НДІБПГ», 2008. – Вип. 10. – С. 182–186.
7. Тищук В. Ю. Агрохімічний спосіб закріплення пилючих поверхонь на гірничорудних підприємствах / В. Ю. Тищук // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу : зб. наук. праць. – Кривий Ріг : НДІБПГ, 1999. – Вип. 1. – С. 128–133.
8. Возбудская А.Е. Химия почвы. / А.Е.Возбудская – М.: Высшая школа. - 1968. – 427 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.  
Надійшла до редакції 21.04.2015*

УДК 504.058+627.8.059

© Г.В. Гапіч

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ СТІЙКОСТІ НИЗОВОГО УКОСУ ГРУНТОВОЇ ДАМБИ НА ОСНОВІ ГІДРОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ**

На основі гідрологічних розрахунків визначений коефіцієнт стійкості низового укосу ґрунтової дамби. Встановлено положення критичної точки зниження коефіцієнту стійкості залежно від надходження до водойми надлишкових об'ємів води дощових (зливових) паводків.

На основании гидрологических расчетов определен коэффициент устойчивости низового откоса грунтовой дамбы. Установлено положение критической точки снижения коэффициента устойчивости в зависимости от поступления в водоем избыточных объемов воды дождевых (ливневых) паводков.

Defined sustainability index lower slope of dirt dam on the basis of hydrological calculations. Subject to receipt of floodwater determined position of the critical point of reducing the stability factor.

**Вступ.** За матеріалами Національної доповіді про стан техногенної природної безпеки в Україні у 2014 році [1] серед прогнозних ризиків виникнення надзвичайних ситуацій Дніпропетровська область займає одне з перших місць. Особливу екологічну та техногенну небезпеку становлять аварії і відмови у роботі водопідпірних гідротехнічних споруд (ГТС) під час перерозподілу і регулюванні водних потоків. Руйнування ГТС можуть призвести до паводків, повеней, катастрофічних затоплень на площі до 10,8 тис.км<sup>2</sup>, де проживає близько 1057,7 тис. осіб. На думку автора [2] у зону максимально можливого підтоплення паводковими водами можуть потрапити 6 міст і 21 район, в яких розташовані 333 населених пункти та близько 30 сільськогосподарських об'єктів. Підсилюючим фактором стану екологічної безпеки є наявність на території області скотомогильників поблизу 27 населених пунктів. Таким чином забезпечення надійної експлуатації гідротехнічних споруд різного призначення та підвищення рівня екологічної безпеки території в зоні пливу ГТС є актуальною задачею.

**Постановка проблеми.** За даними [1] протягом 2014 року середня річна температура повітря в Дніпропетровській області перевищила кліматичні пока-

знижки на 0,6-1,4 °С, а кількість опадів при цьому сягнула 130-162% від норми. В зв'язку з цим, на зміну тривалому снігостану приходять декілька циклів з морозним періодом та таненням взимку, а в теплий період року спостерігається тенденція випадіння понад норми опадів, що носять зливовий характер. Особливу небезпеку опади складають на малих річках з невеликою площею водозбору (до 100 км<sup>2</sup>), адже при середніх розмірах дощової хмари у 30-50 км<sup>2</sup> в зону катастрофічного паводку потрапляє значна, подекуди до 70% площа басейну річки. Враховуючи невеликі площі водозбору та значну зарегульованість більшості малих річок, виникає ризик руйнування гідротехнічних споруд (ГТС) під час проходження дощових (зливових) паводків. Відповідно до нормативів [3, 4, 5] під час проектування та експлуатації ГТС розраховують максимальні витрати та рівні води, виходячи із щорічної імовірності перевищення (забезпеченості), що встановлюються відповідно до класу споруди.

Велика кількість зведених гідротехнічних споруд на малих річках та водотоках не мають проектної документації, де висвітлені основні розрахунки та обґрунтування конструктивних параметрів дамб і скидних споруд. В результаті неналежної експлуатації без проведення оглядів технічного стану та ремонтних робіт підвищується ризик виникнення гідродинамічних аварій. Посилюючим фактором є тривалий час експлуатації ГТС, що перевищує понад 50 років роботи під навантаженням. Переважна більшість таких об'єктів розташовані поза межами населених пунктів, в степах, ярах і балках. Призначені ставки для зрошення прилеглих полів, водопоїв худоби тощо. На сьогоднішній день такі водойми використовують для рекреації населення, риборозведення, а під час збору урожаю, ґрунтові дамби слугують транспортними шляхами, по яким проходить великотоннажна сільськогосподарська техніка та вантажівки із зерном, які були відсутні ще 10-20 років тому. Внаслідок цього ґрунти тіла ГТС ущільнюються та відбуваються локальні деформації, що спричинені надмірним навантаженням та динамічними коливаннями. Перелічені природні та техногенні фактори впливають на стійкість гідротехнічних споруд.

**Цілі і завдання досліджень.** Таким чином постає необхідність перевірки та уточнення гідрологічних розрахунків і оцінки технічного стану ГТС, що зведені на основі проектної документації, а також тих споруд де вона відсутня.

**Викладення основного матеріалу.** Гідрологічні розрахунки та визначення коефіцієнту стійкості дамби проведені в Синельниківському районі Дніпропетровської області. Водойма та гідротехнічна споруда на ній розташована на р. Нижня Терса поблизу села Циганівка. Об'єм води при нормальному підпірному горизонті (НПГ) складає 165 тис. м<sup>3</sup>; площа ставка – 5,5 га; різниця відміток між гребенем дамби та урізом води при НПГ сягає 1,6 м. За результатами обстежень співробітниками Синельниківського міжрайонного управління водного господарства та працівниками Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) відмічається незадовільний стан багатьох ГТС та водоскидних споруд на них.

Гідрологічні розрахунки мають на меті показати підвищення рівня води у водосховищах у випадку надходження надмірної кількості опадів. Методика визначення гідрологічних характеристик базується на чинному СНиП 2.01.14-83 [5].

Розрахунок максимальних витрат і об'ємів стоку води дощових (зливових) паводків (табл. 1) визначається за відсутності матеріалів гідрометричних спостережень. Відповідно до [5] при площі водозбору до 200 км<sup>2</sup> у степовій зоні, розрахунок максимальних витрат проводиться за емпіричною редуційною формулою [5]:

$$Q_{p\%} = q_{200} \cdot \left(\frac{200}{F}\right)^n \cdot \lambda_{p\%} \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot F, \quad (1)$$

де  $Q_{p\%}$  – максимальна витрата 1%-вої забезпеченості;  $q_{200}$  – модуль максимальної витрати (м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>) ймовірністю перевищення 1%, яка приведена до площі водозбору 200 км<sup>2</sup>;  $n$  – показник ступеня зменшення модуля розрахункової витрати;  $\lambda_{p\%}$  – перехідний коефіцієнт від 1%-вої ймовірності перевищення до заданої ймовірності;  $\delta_1$  – коефіцієнт, який враховує зарегульованість максимальної витрати проточними озерами ( $\delta_1=1,0$ );  $\delta_2$  – коефіцієнт зниження витрат води в залісених та заболочених водозбірних басейнах ( $\delta_2=1,0$ );  $F$  – площа водозбору, км<sup>2</sup>.

Об'єм стоку повені розрахункової забезпеченості встановлений за виразом [5]:

$$W_{p\%} = F \cdot h_{p\%} \cdot 10^3, \quad (2)$$

де  $h_{p\%}$  – шар стоку розрахункової забезпеченості, мм.

Таблиця 1

Розрахунок максимальних витрат і об'ємів стоку води дощових (зливових) паводків

Найменування показників	Один. виміру	Р % (забезпеченість)							
		0,1	0,5	1	2	3	5	10	25
<i>Морфометрична характеристика</i>									
Площа бічної приточності, $F$	км <sup>2</sup>	4,6							
<i>Максимальна витрата дощових паводків</i>									
Модуль максимальної витрати, $q_{200}$	л <sup>3</sup> /(с·км <sup>2</sup> )	0,25							
Показник ступеня зменшення модуля розрахункової витрати, $n$	-	0,70							
Коефіцієнт зарегульованості озерами, $\delta_1$	-	1,0							
Коефіцієнт заболоченості, $\delta_2$	-	1,0							
Перехідний коефіцієнт, $\lambda_{p\%}$	-	1,6 2	1,3 5	1,0 0	0,7 7	0,6 5	0,5 0	0,3 4	0,1 5
Максимальна витрата, $Q_{p\%}$	м <sup>3</sup> /с	26, 1	21, 8	16, 1	12, 4	10, 5	8,1	5,5	2,4
<i>Об'єм стоку зливи</i>									
Шар стоку зливи розрахункової вірогідності, $h_{p\%}$	мм	64, 8	60	40	30, 8	26	20	13, 6	6
Об'єм стоку зливи, $W_{p\%}$	млн. м <sup>3</sup>	0,3 0	0,2 5	0,1 8	0,1 4	0,1 2	0,0 9	0,0 6	0,0 3

При розрахунках гідротехнічних споруд, їх конструкцій і основ дотримуються умови, яка забезпечує недопущення настання граничних станів за несучою здатністю [4]. Найбільш вразливим елементом ГТС є втрата несучої спроможності та обвалення низових укосів споруд. Перевірку їх стійкості виконано за стандартною методикою круглоциліндричних поверхонь ковзання [4, 6]. У цьому випадку передбачається, що під дією сил ваги ґрунту укосу в тілі і підвалині ГТС може утворитися небезпечна круглоциліндрична поверхня ковзання (КЦПК), у зв'язку з чим відбудеться сповзання ґрунту укосу і випучування підвалини. Сповзання укосу буде опиратися сила тертя і зчеплення по поверхні завалення.

Перевірка стійкості укосу зводиться до визначення коефіцієнта стійкості, що дорівнює відношенню моменту утримуючих сил до моменту сил, що зрушують, і визначається за формулою [4, 6]:

$$k_c = \frac{R}{F} = \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc}}{\gamma_c}, \quad (3)$$

де  $R$  – момент сил несучої спроможності;  $F$  – момент активних сил відносно осі поверхні зсуву;  $\gamma_{lc}$  – коефіцієнт сполучення навантажень;  $\gamma_n$  – коефіцієнт надійності за відповідальністю;  $\gamma_c$  – коефіцієнт умов роботи.

Розрахунок проведений для двох випадків: при рівні води у верхньому б'єфі (ВБ) на нормальному та форсованому підпірних горизонтах. Розрахункові схеми та отримані результати коефіцієнту стійкості наведено на рис. 1.

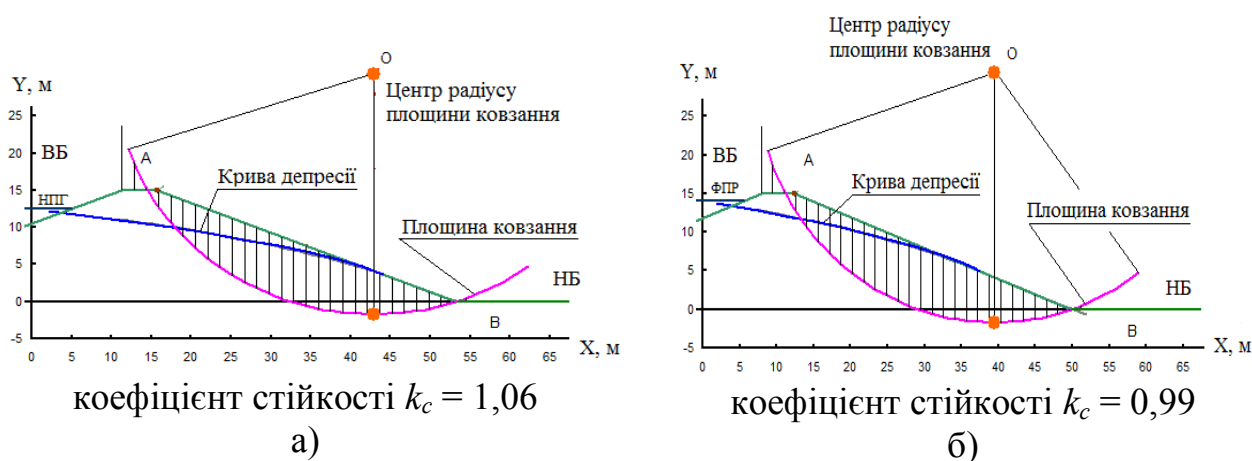


Рис. 1. Розрахунок коефіцієнту стійкості низового укосу дамби за методом круглоциліндричної поверхні ковзання: а) при нормальному підпірному горизонті води у верхньому б'єфі; б) при форсованому підпірному рівні води.

Аналіз отриманих розрахунків коефіцієнту стійкості низового укосу дамби показує, що при підвищенні рівня води у верхньому б'єфі змінюється положення депресійної кривої в тілі споруди, що знижує коефіцієнт стійкості.

Під час експлуатації та оцінки технічного стану ГТС працівникам ДСНС і співробітникам управлінні водного господарства можливо представити у вигляді

графіку залежність коефіцієнту стійкості від забезпеченості ( $P\%$ ) і, відповідно, об'ємів дощових (зливових) паводків ( $W$  млн. м<sup>3</sup>). На прикладі дамби поблизу с. Циганівка наведена залежність  $K_c$  від об'ємів води дощового паводку. Спочатку побудований графік об'ємів води від забезпеченості ( $W=f(P\%)$ ) на основі гідрологічних розрахунків (табл. 1). З урахування об'ємів води, що надходить до ставка, визначена висота підйому рівня води ( $\Delta h$ , м), яка наведена додатковою шкалою на графіку (рис. 2).

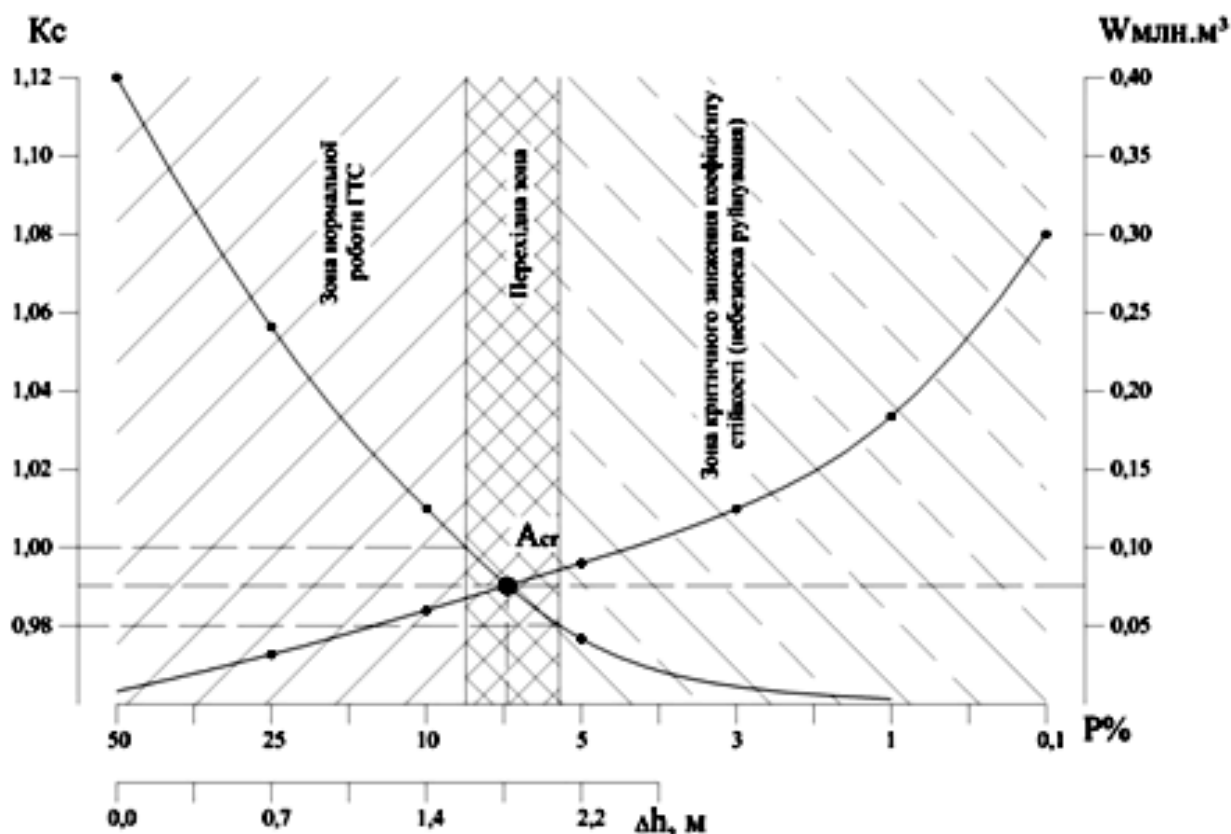


Рис. 2. Графік для визначення критичної точки коефіцієнту стійкості залежно від забезпеченості і об'ємів води дощових (зливових) паводків:  $P\%$  – забезпеченість;  $K_c$  – коефіцієнт стійкості;  $W$  – об'єм води дощового паводку;  $\Delta h$  – висота підвищення рівня води відносно НПП.

Відповідно до підйому рівня води проведений розрахунок коефіцієнту стійкості ( $K_c$ ) споруди методом круглоциліндричних поверхонь ковзання. Побудований графік залежності коефіцієнту стійкості від висоти підйому рівня води у ставку ( $K_c=f(\Delta h)$ ). Точку перетину двох графіків  $A_{cr}$  можна вважати критичною для подальшої безпечної експлуатації ГТС. З графіку видно, що вона співпадає з максимальною відміткою перевищення гребня дамби над рівнем НПП. Таке положення точки вказує на небезпеку руйнування споруди внаслідок переливу води через гребінь під час подальшого надходження води. Графік можливо умовно розділити на декілька зон. Перша зона нормальної роботи ГТС, коли коефіцієнт стійкості споруди вищий за 1 і споруда здатна виконувати за-

дані функції (утримання води). При пониженні  $K_c$  і переходу через критичну точку наповнення і стійкості виділяється перехідна зона. Для неї будуть характерні короткотермінові у часі навантаження на споруду, які при їх усуненні також дають можливість продовжити нормальну експлуатацію ГТС. Насамкінець, виділяється зона критичного зниження коефіцієнту стійкості при якій відбувається перелив води через гребінь і втрата спорудою несучої здатності.

Аналіз графіка (рис. 2) показує, що при збільшенні забезпеченості і об'ємів води, що надходить до водойми, знижується коефіцієнт стійкості ГТС. Значення критичної точки наближено співпадає з відміткою перевищення гребня над рівнем води. Такі результати дають можливість казати, що при дощовому паводку забезпеченістю у  $P \approx 7\%$  і об'ємах води у 0,075 млн. м<sup>3</sup> на площі власного водозбору існує небезпека нормальної експлуатації гідротехнічної споруди. Слід зауважити, що для пропуску розрахованих витрат необхідно утримувати повністю у справному стані водоскидні споруди на гідровузлі.

**Висновки.** Представлення розрахунків коефіцієнту стійкості та гідрологічних параметрів у вигляді сумісного графіку для кожної окремої споруди на гідрографічній мережі річки дає змогу оперативно реагувати на зміну показників надійності та стійкості споруди в залежності від метеорологічних умов. Доцільним є наведення такого графіку в паспорті кожної ГТС, що надасть змогу оперативно оцінити її технічний стан, а невідкладне реагування на зміни основних параметрів, підвищить надійність експлуатації гідротехнічних споруд та рівень екологічної безпеки прилеглих територій.

#### Список літератури

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році. – Київ: 2015 р. – 365 с.
2. Сундук А.М. Природно-техногенна (екологічна) безпека Дніпропетровської області / А.М. Сундук // Економіка природокористування і охорони довкілля. — К.: РВПС України НАН України, 2008. – С. 318-326.
3. Гідротехнічні споруди. Основні положення: ДБН В.2.4-3:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 37 с.
4. Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення: ДБН В.2.4-Х.201Х. – [Проект]. – К.: Мінрегіонбуд України, 201Х. – (Державні будівельні норми України).
5. Определение расчетных гидрологических характеристик: СНиП 2.01.14-83. – [Дата введения 1984-07-01]. – М.: Госстрой СССР, 1985. – (Строительные нормы и правила).
6. Основания гидротехнических сооружений. СНиП 2.02.02-85. – М.: Госстрой СССР, 1987.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 07.03.2015*