

Балабай О.О., асистент  
Харківський національний університет будівництва та архітектури

## ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ БЕТОННИХ ГРАВІТАЦІЙНИХ ГРЕБЕЛЬ НА СКЕЛЬНІЙ ОСНОВІ ЗА КРИТЕРІЄМ СТІЙКОСТІ ГРЕБЛІ ПРОТИ ЗСУВУ ТА ПЕРЕКИДАННЯ

*Розглянуто методика ймовірнісного оцінювання надійності бетонних гравітаційних гребель на скельній основі за критерієм стійкості греблі проти зсуву та перекидання. Імовірнісне оцінювання ризику виникнення аварій на бетонних гравітаційних греблях виконувалась на прикладі глухої бетонної гравітаційної греблі на скельній основі гідровузла «Велика енергетична гребля Ефіопського відродження». У результаті отримано кількісну ймовірнісну оцінку досягнення граничного стану за першою групою межових станів, пов'язаного з втратою стійкості проти зсуву та перекидання. Визначено необхідну кількість статистичних випробовувань для досягнення доволі вузького довірчого інтервалу. Запропонована методика може бути використана при розрахунках бетонних гравітаційних гребель на скельній основі.*

**Ключові слова:** бетонні греблі, ймовірність, надійність.

Балабай Е.А., асистент  
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ БЕТОННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПЛОТИН НА СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ ПО КРИТЕРИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОТИНЫ ПРОТИВ СДВИГА И ОПРОКИДЫВАНИЯ

*Рассмотрена методика вероятностной оценки надежности бетонных гравитационных плотин на скальном основании по критерию устойчивости плотины против сдвига и опрокидывания. Вероятностная оценка риска возникновения аварий на бетонных гравитационных плотинах выполнялась на примере глухой бетонной гравитационной плотины на скальном основании гидроузла «Большая энергетическая плотина Эфиопского возрождения». В результате получена количественная вероятностная оценка достижения предельного состояния по первой группе предельных состояний, связанного с потерей устойчивости против сдвига и опрокидывания. Определено необходимое количество статистических испытаний для достижения довольно узкого доверительного интервала. Предложенная методика может быть использована при расчетах бетонных гравитационных плотин на скальном основании.*

**Ключевые слова:** бетонные плотины, вероятность, надежность.

## RELIABILITY PROBABILISTIC ASSESSMENT OF CONCRETE GRAVITY DAM ON ROCK FOUNDATION OF SUSTAINABILITY CRITERIA IN DAM AGAINST THE SHIFT AND OVERTURN

*Several accidents concrete gravity dam on rock foundations encouraged to address the problem of reliability of such bases, previously considered ideal.*

*Mechanical properties determine the behavior of rocks under the influence of external forces on them – loads. These properties allow to directly evaluate the strength and deformation rocks.*

*Due to disturbances in the basics held 38% of the total destruction of concrete gravity dams, 10% of accidents occurred due to an increase in permeability rocks.*

*Because of the heterogeneity of deformation in co-operation structures and foundations of hydrostatic loads on 22% of accidents concrete dams.*

*The paper discusses the methodology of probabilistic safety assessment of concrete gravity dam on rock foundation for the stability criterion dam against shifting and tilting.*

*The result is a quantitative assessment of the probability of the ultimate state of the first group of limit states associated with the loss of resistance to shear and overturning.*

*The method was tested on the example of a high concrete gravity dam hydroelectric Big Energy Ethiopian renaissance dam on r. Blakitny Nile in Ethiopia, projected by PJSC Ukrhydroproject. Marking the top concrete dam +645.000 m, total length of 1,783 m. Grass-roots facet dams speed of incorporation 0.8. The basis of the dam are rock solid bedrock - gneiss.*

*Calculations are performed for basic and special combination of loads and impacts. To solve this problem the method applied statistical tests (Monte Carlo). In this case, use the following method of calculation at every statistical tested in  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ):*

- 1. For each of the output random variables and the number ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) are set uniformly distributed in the range from 0 to 1 random probability  $P_{i,j}$ .*
- 2. According to the obtained values  $P_{i,j}$  using the distribution function arguments are values  $X_{i,j}$  each of the random variables.*
- 3. For known values  $X_{i,j}$  according to equation connection value calculated total factor  $Y_j$ .*
- 4. Checking of implementation of relevant conditions to achieve the ultimate state of total value received by the factor.*

*Found on probabilistic method the probability of loss of stability of the dam against shear, the probability of loss of stability of the dam against overturning.*

*It determines the number of statistical tests to achieve a fairly narrow confidence interval.*

*In this paper put forward the assumption that the calculation of the strength that the foundations should be carried out on the basis of the calculation of resistance against capsizing concrete structures on the rock on the scheme boundary rotation.*

*The proposed method can be used in the calculation of concrete gravity dam on rock foundation.*

**Keywords:** *concrete dam, the probability and reliability.*

**Вступ.** Для оцінки надійності бетонних гравітаційних гребель використовуються два підходи. Перший - детерміністичний за формою, підхід заснований на методі граничних станів. Відповідно до цього методу, облік випадкових навантажень і впливів, показників властивостей матеріалів і ґрунтів, розрахункових термінів експлуатації споруд, а також умов їх роботи виконується на основі системи нормативних коефіцієнтів [1-2]. Цей метод не дозволяє отримати об'єктивну оцінку надійності бетонних гравітаційних гребель. Це пов'язано з тим, що значення нормативних коефіцієнтів не завжди є об'єктивними і носять умовний характер.

Більш об'єктивну оцінку можливо отримати за другим підходом, який заснований на використанні імовірнісних методів оцінки надійності бетонних гравітаційних гребель [3]. Нормативний документ [4] регламентує необхідність оцінки ризику виникнення аварій на гідротехнічних спорудах.

В даний час в нормах проектування та технічній літературі відсутня апробована методика імовірнісної оцінки надійності бетонних гравітаційних гребель на скельній основі за критерієм стійкості греблі проти зсуву та опрокидування.

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Ряд аварій бетонних гравітаційних гребель на скельних основах підштовхнули розглянути проблему надійності таких основ. Механічні властивості визначають поведінку гірських порід в умовах впливу на них зовнішніх зусиль – навантажень. Ці властивості дозволяють безпосередньо оцінювати міцність і деформативність гірських порід [1].

За даними, наведеними у технічній літературі [2 – 5], унаслідок порушень в основі відбулося 38% усіх руйнувань бетонних гравітаційних гребель, 10% аварій відбулося внаслідок збільшення водопроникності порід. Через неоднорідність деформацій при спільній роботі споруди та основи від гідростатичних навантажень відбулося 22% аварій бетонних гребель [6]. У 4% аварій, пов'язаних з основою, греблі втрачали стійкість на зсув у зв'язку із слабкою скелею, складеною тріщинуватими перетертими породами із глинистим заповнювачем тріщин [7].

Зараз в Україні лише з'являються норми проектування, які регламентують виконання ймовірнісного оцінювання гідротехнічних споруд, але більшість діючих норм базуються на основі детерміністичного за формою підходу, заснованого на методі граничних станів [8].

У роботі наведено методику ймовірнісного оцінювання надійності бетонних гравітаційних гребель на скельній основі за критерієм стійкості греблі проти зсуву та перекидання.

**Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Аварії на бетонних гравітаційних греблях на скельній основі можуть бути викликані при досягненні граничного стану першої групи, пов'язаного з перевищенням з втратою стійкості греблі проти зсуву  $P_c$ , із втратою стійкості греблі проти перекидання  $P_m$ . Тому розроблення методики ймовірнісного оцінювання надійності бетонних гравітаційних гребель на скельній основі за критерієм стійкості греблі проти зсуву та перекидання є актуальним завданням.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка методики ймовірнісного оцінювання надійності бетонних гравітаційних гребель на скельній основі класу СС2 за критерієм втрати стійкості греблі проти зсуву  $P_c$  та втрати стійкості греблі проти перекидання  $P_m$ .

**Основний матеріал і результати.** Для розв'язання поставленого завдання застосовано метод статистичних випробувань (Монте-Карло) [9–17].

Основні етапи розрахунку ймовірності досягнення межового стану, пов'язаного із втратою стійкості греблі на зсув та перекидання, такі:

1. Побудова рівняння зв'язку між вхідними (навантаження й впливи на греблю, властивості матеріалів та основи) і вихідними параметрами (результати розрахунку).

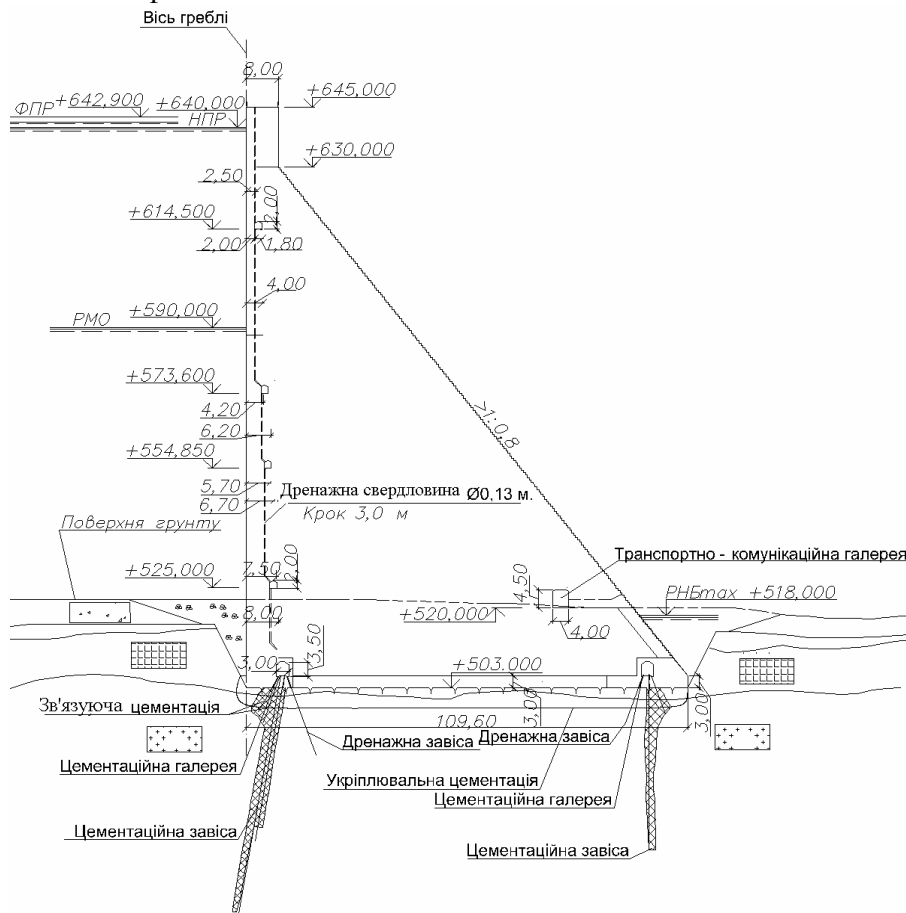
2. Підготовка вихідних даних для розрахунку згідно із прийнятим рівнянням зв'язку та розподілом вхідних параметрів на ймовірнісні та детерміністичні.

3. Визначення ймовірнісних характеристик вхідних параметрів.

4. Визначення ймовірнісної оцінки досягнення межового стану бетонних гравітаційних гребель на основі вирішення відповідної задачі статистичної динаміки. Для вирішення цієї задачі застосовувався метод статистичних випробувань, який являє собою числовий метод вирішення математичних задач на основі моделювання випадкових величин.

Імовірнісне оцінювання ризику виникнення аварій на бетонних гравітаційних греблях виконувалося на прикладі глухої бетонної гравітаційної греблі на скельній основі гідровузла «Велика енергетична гребля Ефіопського відродження».

Вихідні дані були надані ПАТ «Укргідропроєкт» м. Харків. Відмітка верху бетонної греблі +645,000 м, загальна довжина 1783 м. Низова грань греблі ступінчаста із закладенням 0,8. Основою греблі служать міцні скельні корінні породи – гнейси. На рис. 1 наведено розріз Великої енергетичної греблі Ефіопського відродження на р. Блакитний Ніл в Ефіопії.



**Рисунок 1 - Розріз глухої бетонної гравітаційної греблі Великої енергетичної греблі Ефіопського відродження**

Розрахунки виконуються для основного та особливого сполучення навантажень і впливів згідно з нормативною методикою [18]. Вихідні дані, необхідні для визначення ризику виникнення аварії за умовою втрати стійкості греблі проти опрокидування та зсуву, прийнято детерміністичними й імовірнісними.

Детерміністичні величини: висота греблі  $H=142$  м; ширина греблі по основі  $Bgo=109,6$  м; ширина греблі поперек потоку  $Bo=1$  м; ширина гребеня греблі  $C=8$  м; площа греблі по основі  $An=Bgo \cdot Bo$ , м<sup>2</sup>; закладання верхового відкосу греблі  $m1=0$ ; закладання низового відкосу  $m2=0,8$ ; висота від гребеня греблі до переламу з боку верхнього б'єфа  $Hpg=142$  м; висота від гребеня греблі до переламу з боку нижнього б'єфу  $Hpn=15$  м; щільність бетону  $\gamma b=24$  кН/м<sup>3</sup>; щільність води  $\gamma w=9,8$  кН/м<sup>3</sup>; вага мосту  $Gm=150$  кН; корисне навантаження  $Gp=80$  кН; відмітка гребеня греблі  $Zgp=645$  м; відмітка дна  $Zd=503,0$  м; довжина водосховища  $Lvod=3,1$  км; рівень мертвого об'єму РМО  $Zvbrmo=590$  м; відмітка контактного перерізу  $Zc=Zd$ ; зусилля від тиску наносів  $Tnc$ ; момент від ваги галерей  $Mg$ , власної ваги греблі  $Mgl$ , ваги мосту  $Mm$ ; власної ваги греблі  $Gl_{ut}$ , ваги галерей  $Gg_{ut}$ ; момент від тиску наносів  $Mn_{i,ut}$ .

Імовірнісні величини:

- рівень води у верхньому б'єфі  $Zvb_i$  визначається за нормальним законом розподілу з математичним очікуванням  $m_{Zvb_i} = 635,82$  та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_{Zvb_i} = 1,78$ ;

- відповідно до вимог нормативного документа [19] для опису міцності масиву скельного ґрунту на одновісний стиск та зминання властивості скельного ґрунту прийнято за нормальним законом розподілу. Як математичне очікування межі міцності масиву скельного ґрунту на одновісний стиск  $m_{R_{csm}}$ , на зминання  $m_{R_m}$  прийнято їх середнє значення за результатами польових випробувань при однібічній довірчій імовірності  $\alpha=0,95$ ; коефіцієнт варіації випадкової величини міцності скельної основи на зминання, на одноосний стиск  $Cov=0.3$  [19]; середньоквадратичне відхилення розрахункового значення характеристики міцності скельної основи на зминання  $\sigma_{ck}=Cov \cdot R_m$  та на однібісний стиск  $\sigma_{ck}=Cov \cdot R_{csm}$ ;

- міцність бетону на стиск прийнято згідно із зонуванням тіла греблі  $Rb=8$  МПа;  $Rb=10$  МПа;  $Rb=12$  МПа; коефіцієнт варіації міцності бетону на стиск прийнято за його нормативним значенням  $Cv=0,135$ ; середньоквадратичне відхилення міцності бетону на стиск  $\sigma b=Cv \cdot Rb$ ;

- сейсмічність будівельного майданчика визначена на основі спеціальних сейсмічних вишукувань за даними ПАТ «Укргідропроєкт». У результаті була встановлена розрахункова бальність проектного землетрусу та максимальне значення розрахункового землетрусу;

- імовірність 10-процентного перевищення сейсмічної інтенсивності в балах за шкалою MSK-64 впродовж 50 років (період повторюваності – 1 раз на 500 років), відповідає 6-и балам, що відповідає горизонтальному сейсмічному прискоренню  $0,05 \cdot g$  ( $g$  – прискорення вільного падіння);

- імовірність 1-процентного перевищення сейсмічної інтенсивності в балах за шкалою MSK-64 впродовж 50 років (період повторюваності – 1 раз на 5000 років), відповідає 7-и балам, що відповідає горизонтальному сейсмічному прискоренню  $0,1 \cdot g$ ;

- бальність землетрусів  $J_i$  району будівництва гідровузла задана логнормальним законом розподілу з математичним очікуванням  $m_{J_i} = 4,95$  та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_{J_i} = 1,16$ ;

- розрахунок від сейсмічного впливу виконується за сейсмічним спектральним методом, при цьому норми проектування гідротехнічних споруд [14,15] рекомендують для споруд класу нижче СС3 враховувати лише перший тон власних коливань;

- за бальністю землетрусів визначається випадкова величина  $\alpha_0$  – відносне прискорення ґрунту основи [19, 20];

- інерційне сейсмічне навантаження від власної ваги греблі  $S_{i,t} = S_{i,t}(\alpha_0)$  є функцією сейсмічного прискорення;

- момент від інерційного сейсмічного навантаження  $M_{S_{i,ut}} = M_{S_{i,ut}}(\alpha_0)$ ;

- момент від дії сейсмічного гідродинамічного тиску води  $ME_{i,ut} = ME_{i,ut}(\alpha_0)$ ;
- момент від дії сейсмічного тиску наносів  $MP_{i,ut} = MP_{i,ut}(\alpha_0)$ ;
- момент від дії хвильового тиску  $MV_{i,ut} = MV_{i,ut}(Zvb_i)$ ;
- момент від горизонтального гідростатичного тиску з боку верхнього б'єфа  $Mh_{i,ut} = Mh_{i,ut}(Zvb_i)$ ;
- сейсмічний гідродинамічний тиск води  $Ep_{i,t} = Ep_{i,t}(\alpha_0)$ ;
- сейсмічний гідродинамічний тиск наносів  $En_{i,t} = En_{i,t}(\alpha_0)$ ;
- горизонтальний хвильовий тиск  $Ww_{i,t} = Ww_{i,t}(Zvb_i)$ ;
- гідростатичний тиск води  $Wv_{i,t} = Wv_{i,t}(Zvb_i)$ ;
- момент від сили фільтраційного тиску  $Mf_i = Mf_i(Zvb_i)$ .

Імовірнісні характеристики функції розподілу подані для ймовірностей, які відповідають розрахунковому строку експлуатації  $T = 100$  років, для споруди класу СС3.

Для визначення стійкості греблі проти зсуву використано такий метод.

Виконуємо необхідну кількість  $N$  статистичних випробувань. Методика розрахунків при кожному статистичному випробуванні  $j$  ( $j=1,2,\dots,N$ ):

1. Для кожної з вхідних випадкових величин за номером  $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) задається рівномірний розподіл інтервалі від 0 до 1.

2. За отриманими значеннями  $P_{i,j}$ , використовуючи функції розподілу, знаходять значення аргументів  $X_{i,j}$  кожної з випадкових величин.

3. За відомими значеннями  $X_{i,j}$  згідно з рівнянням зв'язку обчислюється значення сукупного фактора  $Y_j$ .

4. Перевіряється виконання відповідної умови досягнення граничного стану за отриманим значенням сукупного фактора.

Після виконання всіх  $N$  випробувань обчислюється значення ймовірності досягнення граничного стану як відношення числа випробувань  $N_j$ , коли умову досягнення граничного стану було виконано, до числа всіх випробувань  $N$ .

Статичний розрахунок гравітаційних гребель виконано в умовах плоскої задачі. Розглянута гребля одиничної товщини (1 м) із шириною по основі  $Bgo$  та висотою  $H$ .

Визначення ймовірності досягнення межового стану, пов'язаного із втратою стійкості греблі проти зсуву:

- довжина майданчика зминання  $b_i$ , м:

$$b_i = 3 \cdot Eo_{i,t} - 0,5Bgo, \quad (1)$$

де  $Eo_{i,t}$  – ексцентриситет  $i$ -го перерізу;

- підсумок вертикальних сил, спрямованих донизу, що діють на греблю,

$$Ve_i = Gl + Gg + Gm + Gp. \quad (2)$$

- підсумок горизонтальних сил, які діють на греблю,

$$Fc_{i,t} = Tn + S_{i,t} + Ep_{i,t} + En_{i,t} + Ww_{i,t} + Wv_{i,t}. \quad (3)$$

- перевіряється ймовірність досягнення межового стану, пов'язаного із втратою стійкості греблі проти зсуву  $lp_i$ ,

$$lp_i = \frac{(Ve_i - Wf_i) \cdot tg_i + (An - b_i \cdot Bo) \cdot c_i}{Fc_{i,t}} \geq 1, \quad (4)$$

де  $Ve_i$  – підсумок вертикальних сил, котрі діють на греблю та спрямовані донизу;

$Wf_i$  – сила фільтраційного протитиску;

$tg_i$  – кут внутрішнього тертя;

$An$  – ширина контактного перерізу;

$Bo$  – ширина греблі;

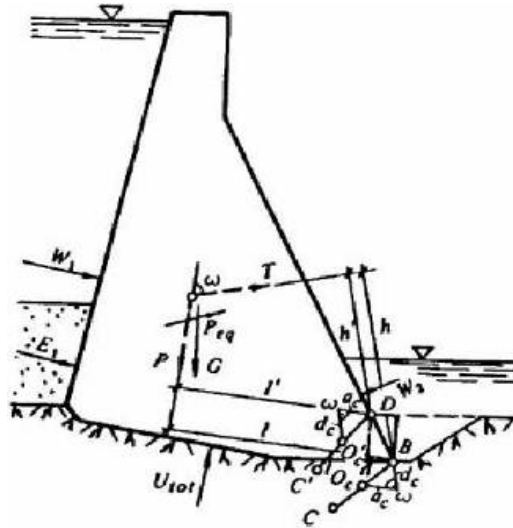
$c_i$  – питоме зчеплення;

$Fc_{i,t}$  – сила зсуву;

- визначається співвідношення кількості випробувань  $p_1$ , при яких відбулося досягнення межового стану  $n_1$ , разів, до всієї кількості випробувань  $n$ , разів,

$$p_1 = \frac{n_1}{n}. \quad (5)$$

У цій роботі розрахунок міцності основи виконувався на основі розрахунку стійкості проти перекидання бетонних споруд на скельній основі за схемою граничного повороту (рис. 2) [18].



**Рисунок 2 – Схема до розрахунку стійкості споруди проти перекидання за схемою межового повороту:**

$O_c$  – середина майданчика змінання  $BC$ ;  $W_1$  – тиск води;  $G$  – вага греблі;  
 $O_{c'}$  – середина майданчика змінання  $DC'$  за наявності упору;  $W_1$  – тиск наносів;  
 $U_{tot}$  – протитиск;  $W_2$  – тиск води на нижню грань греблі;  $Peq$  – сейсмічні сили

Виконуємо необхідну кількість  $N$  статистичних випробувань. Таку методику розрахунків використаємо при кожному статистичному випробуванні  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ).

Для визначення стійкості греблі проти перекидання для всіх випадкових величин при кожному статистичному випробуванні виконується така процедура:

1. Задаються випадковою імовірністю випадкової величини від 0 до 1.
2. За відомим законом розподілу визначається її квантиль.
3. Визначається положення осі майданчика змінання за формулами (7) – (8).
4. Перевіряється виконання умови

$$R_{cs,m} > 20\sigma,$$

де  $\sigma$  – середнє нормальне напруження по підшві бетонної греблі;

20 – безрозмірний коефіцієнт [18].

Стійкість бетонних гравітаційних гребель розраховується за схемою перекидання відносно ребра низової грані  $B$ , за наявності з боку нижнього б'єфу скельного упору від точки  $D$ .

5. Перевіряється виконання умови

$$M_{yt} \leq M_{op} \quad (6)$$

6. Виконується необхідна кількість  $N$  статистичних випробувань, підраховується кількість статистичних випробувань, при яких не виконується п. 5.

7. Обчислюється значення ризику втрати стійкості бетонної гравітаційної греблі впродовж розрахункового терміну служби  $P_T$  як відношення  $n/N$ .

Визначення ймовірності досягнення граничного стану, пов'язаного із втратою стійкості греблі проти перекидання:

- визначаються координати положення середини майданчика зминання  $ac$  і  $bd_{ut}$ , м

$$ac = \frac{Ve_t}{2 \cdot Bgo \cdot Rcsm} \quad (7)$$

$$bd_{ut} = C + (ut) \cdot \Delta Z \cdot m2 - ac \quad (8)$$

де  $\Delta Z$  – крок перерізу, м;

$ut$  – номер перерізу на греблі,  $ut = 0 \dots t$ ;

- визначається момент від дії вертикальних сил відносно середини майданчика зминання  $Mgl_t$ , Н·м

$$Mgl_t = \frac{2}{3} \cdot Gl_t \cdot bd_t \quad (9)$$

- обчислюється відстань від центра ваги галерей до середини майданчика зминання  $lo_{j,i}$ , м,

$$lo_{j,i} = -0.5 \cdot bd_i + ag_j - ac; \quad (10)$$

- визначається відстань від напірної грані до осей галерей  $ag$ ;

- момент від ваги галереї відносно середини майданчика зминання  $Mg_{j,i}$ , Н·м,

$$Mg_{j,i} = Gg_j \cdot l_{j,i}, \quad (11)$$

де  $l_{j,i}$  - значення найкоротшої відстані, м, сили  $Gg$  відносно центра ваги кожного з розрахункових перерізів тіла греблі;

- визначається утримуючий момент відносно середини майданчика зминання  $Myt_{i,t}$ , Н·м,

$$Myt_{i,t} = Mgl_t + Mg_t - Mfl_t. \quad (12)$$

- перекидний момент відносно середини майданчика зминання  $Mop_{i,t}$ , Н·м,

$$Mop_{i,t} = Ms_{i,t} + ME_{i,t} + Mp_{i,t} + Mv_{i,t} + Mh_{i,t} + Mn_{i,t}; \quad (13)$$

- перевіряється ймовірність досягнення межового стану, пов'язаного із втратою стійкості греблі проти перекидання  $Sol_i$ :

$$Sol_i = \frac{Myt_{i,t}}{Mop_{i,t}} \geq 1; \quad (14)$$

- визначається співвідношення кількості випробувань  $p_2$ , при яких відбулося досягнення межового стану  $n_2$ , разів, до всієї кількості випробувань  $n$ , разів,

$$p_2 = \frac{n_2}{n}. \quad (15)$$

За ймовірнісною методикою знайдено ймовірність втрати стійкості греблі проти зсуву за весь строк експлуатації  $P_c = 4,90 \cdot 10^{-5}$ , ймовірність втрати стійкості греблі проти перекидання за весь строк експлуатації  $P_m = 1,97 \cdot 10^{-4}$ , щорічна ймовірність втрати стійкості греблі проти зсуву  $P_c = 4,60 \cdot 10^{-7}$  1/рік, щорічна ймовірність втрати стійкості греблі проти перекидання  $P_m = 1,73 \cdot 10^{-6}$  1/рік. Визначено необхідну кількість статистичних випробувань для досягнення доволі вузького довірчого інтервалу в  $1,22 \cdot 10^6$ .

**Висновки.** Наведена методика розрахунку ймовірнісного оцінювання надійності бетонних гравітаційних гребель на скельній основі класу СС2 за критерієм втрати стійкості проти зсуву та перекидання, яка враховує випадковий характер зовнішніх навантажень та впливів, випадковий характер властивостей будівельних матеріалів, випадковий характер властивостей скельних основ, випадковий характер зовнішніх навантажень. Методика розрахунку апробована на прикладі високої бетонної гравітаційної греблі гідровузла «Велика енергетична гребля Ефіопського відродження» на р. Блакитний Ніл у Ефіопії. Запропонована методика може бути використана при оцінюванні надійності бетонних гравітаційних гребель на скельній основі.



### Література

1. Газиев Э. Г. Скальные основания бетонных плотин: монография / Э. Г. Газиев. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. – 280 с.
2. Авиром Л. А. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений / Л. А. Авиром. – Л. : Стройиздат: Ленинградское отделение, 1971. – 216 с.
3. Калустян Э. С. Разрушение и повреждение бетонных плотин на скальных основаниях / Э. С. Калустян. – М. – СПб., 1997. – 183 с.
4. Калустян Э. С. Риски отказов бетонных плотин / Э. С. Калустян // Безопасность энергетических сооружений: научно-технический и производственный сборник. Вып. 2-3. – М., 1998. – С. 37 – 44.
5. Blind H. The safety of Dams / H. Blind // Int. Water Power and dam Construction. – 1983.– Vol. 35.– № 5. – P. 17 – 21.
6. ICOLD. Dam failures – Statistical Analysis. Bulletin № 99. 1995. – 75 p.
7. Сергеев Е. М. Инженерная геология /Е. М. Сергеев. – М. : Изд-во МГУ, 1978. – 384 с.
8. ДБН В.1.1-12:2006. Строительство в сейсмических районах. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 84 с.
9. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и её инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров – М. : Наука, 1991. – 428 с.
10. Аугустини Г. Вероятностные методы в строительном проектировании / Г. Аугустини, А. Баратта, Ф. Кашиати – М. : Стройиздат, 1988. — 584 с.
11. Балабай Е. А. Вероятностная оценка риска возникновения аварий на бетонных гравитационных плотинах на скальном основании / Е. А. Балабай // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – №153. – Х. , 2015. – С. 204 – 212.
12. Вайнберг А. И. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений. Избранные проблемы / А. И. Вайнберг. – Х : Тяжпромавтоматика, 2008. – 304 с.
13. Векслер А. Б. Надёжность социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений / А. Б. Векслер, Д. А. Ивашищев, Д. В. Стефанишин. – С-Пб. : Изд-во «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. – 589 с.
14. Факторы, влияющие на надежность и экономичность бетонных сооружений на скальном основании / А. П. Кириллов, И. Б. Соколов, Н. С. Розанов, Ю. Б. Мгалобелов // Гидротехническое строительство. – 1984. – № 7. – С. 46 – 49.
15. Bury K. Assessing the failure probability of gravity dams. / K. Bury, H. Kreuzer // Int. Water Power and Dam Construction. – 1985. – №. 11. – P. 34 – 50.
16. Bury K. The assessment of risk for a gravity dam / K. Bury, H. Kreuzer // Int. Water Power and Dam Construction. – 1986. – Vol. 38., №. 11. – P. 34 – 50.
17. Hartford D. Risk and uncertainty in dam safety / D. Hartford, G. Baecher. – London: Thomas Telford Publishing, 2004. – 391 p.
18. СНиП 2.06.06-85. Плотины бетонные и железобетонные. – М. : Госстрой СССР, 1986. – 40 с.
19. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений. – М. : Госстрой СССР, 1986. – 48 с.
20. Учёт сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений (Пособие к разделу 5 СНиП II-7-81 Гидротехнические сооружения) – Л. , 1986. – 311 с.

© Балабай О.О.

Надійшла до редакції 4.12.2015 р.