

**Мозговий А.О., Кисляк О.О., Третьякова О.Ю., Чайка Ю.І.,
Вакуленко С.В., Бондаренко Л.Г.**

Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури

ТЕРМІЧНИЙ РЕЖИМ І НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ГРАВІТАЦІЙНОЇ БЕТОННОЇ ГРЕБЛІ HUONG DIEN НА РІЧЦІ БО У В'ЄТНАМІ

Виконано оцінку напружено-деформованого стану бетонної гравітаційної греблі Huong Dien на р. Бо у В'єтнамі. Ураховано змінення температурного режиму зовнішнього середовища і тіла греблі у зимовий і літній періоди.

Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния бетонной гравитационной плотины Huong Dien на р. Бо во Вьетнаме. Учтены изменения температурного режима внешней среды и тела плотины в зимний и летний периоды.

The estimation of the tensely-deformed state of concrete gravity dam of Huong Dien is executed on Bo in Vietnam. The changes of temperature condition of external environment and body of dam are taken into account in winter and summer periods.

Ключові слова: бетонна гребля, вода, температурне поле, скінчений елемент

Актуальність проблеми. Відповідно до нормативних документів, які регламентують основні підходи щодо проектування гідротехнічних споруд [1- 2], зокрема бетонних гребель, що входять до складу гідровузлів, до навантажень і впливів слід віднести:

а) температурні впливи будівельного та експлуатаційного періодів, що визначені для року із середньою амплітудою коливання середньомісячних температур зовнішнього повітря (див. додаток Ж, п. Ж.1, к [1]);

б) температурні впливи будівельного та експлуатаційного періодів, що визначені для року з найбільшою амплітудою коливання середньомісячних температур зовнішнього повітря (див. додаток Ж, п. Ж.2, б [1]);

в) температурні впливи при розрахунках бетонних гребель на особливі сполучення навантажень і впливів, що визначені для року з максимально низькою середньомісячною температурою зовнішнього повітря (див. п. 4.3 в, [2]).

Тому, удосконалення способів оцінки впливу термічного режиму на бетонні греблі, являється актуальною задачею.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є бетонна гравітаційна гребля, розташована поблизу міста Хюе у В'єтнамі. Геометричні

характеристики греблі наведені у [3]. Матеріал тіла греблі - бетон класу В-15. Температури повітря та води в районі будівництва греблі прийняті згідно з кліматологічними даними.

Навантаження і впливи, ураховані при розрахунку греблі. У відповідності до п. 4 [2] при розрахунку глухої бетонної греблі на основні сполучення навантажень були ураховані: тиск води на ложе водосховища; гідростатичний тиск води на верхову грань греблі; взважуючий протитиск; фільтраційний протитиск; розподіл температур у тілі греблі в зимовий період; розподіл температур у тілі греблі в літній період; власна вага греблі.

Розрахунок греблі на міцність і стійкість. У відповідності до п. 5 [2] розрахунок греблі виконано за методом межових станів:

- граничні стани першої групи (за непридатністю до експлуатації) - розрахунки споруди на загальну міцність і стійкість, а також на місцеву міцність її елементів;

- граничні стани другої групи (за непридатністю до нормальної експлуатації) - розрахунки основи на місцеву і фільтраційну міцність, розрахунки споруди на утворення тріщин і деформації, а також по розкриттю будівельних швів у бетонних і тріщин у залізобетонних конструкціях.

При розрахунках загальної міцності та стійкості греблі, а також місцевої міцності її окремих елементів повинні виконуватись такі умови:

$$\gamma_n \gamma_{lc} F \leq \gamma_{cd} R, \quad (1)$$

$$\gamma_n \gamma_{lc} \sigma_d \leq \gamma_{cd} \Phi(R_s, R_c), \quad (2)$$

де $\gamma_n, \gamma_{lc}, \gamma_{cd}$ - коефіцієнти, прийняті згідно з п. 5.13 [2];

F, R - відповідно розрахункові значення узагальненого силового впливу та узагальненої несівної здатності споруди;

σ_d - розрахункове значення напруження;

Φ - функція, вигляд якої визначається в залежності від характеру напружено-деформованого стану греблі;

R_s, R_c - розрахункові опори арматури і бетону, що визначаються відповідно до [4].

Розрахунок напружено-деформованого стану глухої бетонної греблі. Середня щільність бетону прийнята $\rho_b = 2400 \text{ кг/м}^3$. У відповідності до п. 5.15 [2] модуль деформації бетонної кладки для гребель, зведених пошаровим методом бетонування визначається:

$$E_{bd} = 0,75 \times E_b [1 - 0,04 (3 / h_{b1} - 1)]; \quad (3)$$

де: E_b - початковий модуль пружності бетону, МПа;

h_{bl} - висота блока бетонування, м.

Початковий модуль пружності бетону E_b прийнято за табл. 8., п. 5.18 [2] для бетону класу В15 у віці бетону більш 180 діб: $E_b = 31,5 \times 10^3$ МПа. Однак у відповідності до п. 5.15 [2] при статичних навантаженнях розрахунковий модуль деформації E_{bd} , МПа повинен знаходитись у межах:

$$0,65 E_b \leq E_{bd} \leq 30000 \text{ МПа.} \quad (4)$$

За формулою (3):

$$E_{bd} = 0,75 \times 31,5 \times 10^3 [1 - 0,04(3/2 - 1)] = 23,153 \times 10^3 \text{ МПа.} \quad (5)$$

Перевіряємо умову (4):

$$0,65 E_b = 20,475 \times 10^3 \text{ МПа} < E_{bd} = 23,153 \times 10^3 \text{ МПа} < 30 \times 10^3 \text{ МПа.} \quad (6)$$

Умова (6) виконується, тому остаточно приймаємо $E_{bd} = 23,153 \times 10^3$ МПа.

У відповідності до п. 2.14 [4], за табл.3 розрахункові опори бетону класу В15 для межових станів першої групи становлять: $R_b = 8,5$ МПа; $R_{bt} = 0,75$ МПа. Згідно з формулою (1) п. 2.14 [4] розрахунковий опір бетону при усебічному стисканні R_{ba} , МПа визначається:

$$R_{ba} = R_b + \delta(1 - \alpha_2)\sigma_1, \quad (7)$$

де: δ - коефіцієнт, який для бетону класу В15 визначається:

$$\delta = \frac{30}{\sqrt{R_b}} = \frac{30}{\sqrt{8,5}} = 10,29; \quad (8)$$

σ_1 - найменше по абсолютній величині головне напруження, МПа;

α_2 - коефіцієнт ефективної пористості.

Напруження σ_1 визначиться у результаті оцінки напружено-деформованого стану бетонної греблі. Для споруд І і ІІ класів коефіцієнт α_2 приймають: при $\sigma_1 < 0,4 R_b$, $\alpha_2 = 0,7$; при $\sigma_1 > 0,4 R_b$, $\alpha_2 = 0,5$.

У відповідності до п. 2.15 [4] модуль зсуву бетону: $\sigma_b = 0,4 E_b$. У нашому випадку при $E_b = 31,5 \times 10^3$ МПа, $\sigma_b = 0,4 \times 31,5 \times 10^3 = 12,6 \times 10^3$ МПа. Коефіцієнт поперечної деформації для масивних конструкцій $\nu = 0,15$.

Геотехнічні характеристики ґрунтів основи. Ґрунти основи під тілом греблі складаються із піщаників, алевролітів, аргилітів з нерівномірними прошарками. Щільність часток ґрунту $\rho = 2,73$ т/м³. Щільність повітряно-сухого стану $\rho_d = 2,69$ г/см³. Щільність водонасиченого стану $\rho_{sat} = 2,70$ г/см³. Міцність на стискання повітряно-сухого стану $R_c = 42$ МПа. Міцність на стискання водонасиченого стану $R_c = 35$ МПа. Коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,27$.

Параметри зсуву скельного масиву: кут внутрішнього тертя $\varphi = 37$ град; коефіцієнт зчеплення $c = 0,2$ МПа.

Параметри зсуву по контакту бетон-скеля: кут внутрішнього тертя $\varphi = 37$ град; коефіцієнт зчеплення $c = 0,2$ МПа.

Модуль деформації $E = 3$ ГПа.

Питоме водопоглинання $q = 0,01-1,0$ л/хв.

Спосіб розв'язку задачі. Задача розв'язана методом скінчених елементів у формі методу переміщень. Розрахункова схема представлена плоскою скінчено-елементною моделлю для випадку плоскої деформації. Кількість вузлів розрахункової схеми - 8842, кількість елементів - 8636. Застосовано плоскі прямокутні і трикутні скінчені елементи з двома лінійними степенями вільності у вузлі. По вертикальним і горизонтальним граням основи обмежені вертикальні і горизонтальні переміщення. Скінчено-елементна модель греблі і основи представлена на рисунку 1.

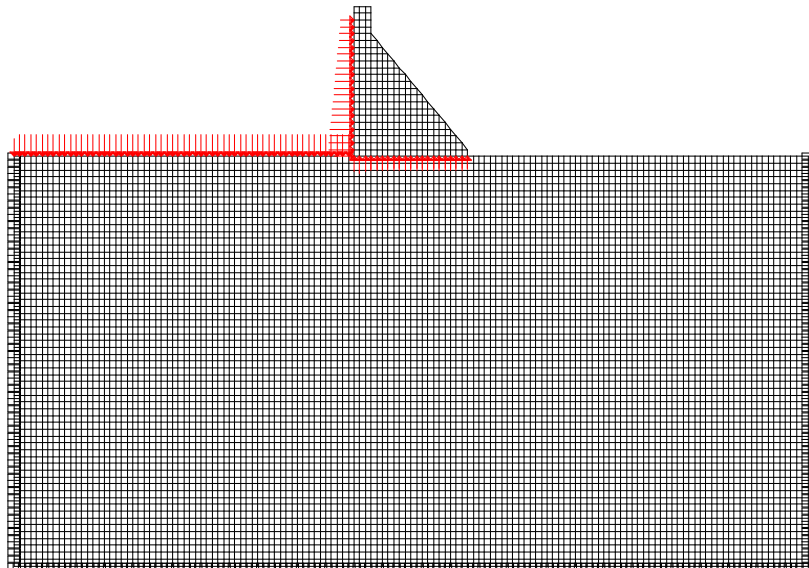


Рисунок 1 - Скінчено-елементна модель греблі і основи

Аналіз отриманих результатів. Аналіз деформованого стану. Найбільші горизонтальні переміщення зимового періоду - у нижній за висотою частині греблі $x = 9,4$ мм; найбільші вертикальні переміщення - у верхній за висотою частині греблі $z = -37,1$ мм.

Найбільші горизонтальні переміщення літнього періоду – у нижній за висотою частині греблі $x = 9,3$ мм; найбільші вертикальні переміщення - у верхній за висотою частині греблі $z = -37,2$ мм.

Аналіз напруженого стану. Нормальні напруження на вертикальних площадках σ_z , т/м² – стискаючі і розподілені у зимовий і літній періоди наступним чином:

- на горизонтальних перерізах греблі найбільших значень досягають на гранях греблі і плавно зменшуються до середини; різниця напружень досягає 40%;

- по вертикалі напруження збільшуються від гребня до основи;

- нормальні напруження σ_z , т/м² найбільших значень на гранях греблі досягають у літній період, а різниця із зимовим періодом складає 5%;

- у середніх за шириною греблі перерізах нормальні напруження σ_z , т/м² найбільші у зимовий період.

Оцінка несівної здатності бетону греблі. Ураховуючи складний напружений стан у якому працює матеріал греблі визначено розрахунковий опір бетону при усебічному стисканні R_{ba} , МПа:

$$\text{при } \sigma_1 = 1,845 \text{ МПа} < 0,4R_b = 0,4 \times 8,5 = 3,4 \text{ МПа}, \rightarrow \alpha_2 = 0,7. \quad (9)$$

$$\begin{aligned} R_{ba} &= R_b + \delta (1 - \alpha_2 \sigma_1) = 8,5 \text{ МПа} + 10,29(1 - 0,7 \times 1,845 \text{ МПа}) = \\ &= 8,5 + 10,29 (1 - 1,29) = 5,5 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (10)$$

Перевіряємо умову міцності:

$$\gamma_n \times \gamma_{lc} \times |\sigma_1| \leq \gamma_{cd} \times R_{ba}; \quad 1,2 \times 1 \times 1,845 < 1 \times 5,5; \quad 2,214 < 5,5. \quad (11)$$

Умова міцності виконується, тому міцність бетонної греблі забезпечена.

Висновки. Слід зазначити, що отримані результати не суперечать результатам, отриманим за традиційними методиками, викладеними у [5-6]. Зазначений алгоритм може бути застосований при розрахунках бетонних гідротехнічних споруд на температурні кліматичні впливи.

ЛІТЕРАТУРА:

1 ДБН В.2.4–3:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Мінрегіонбуд України. – К., 2010. - 37 с.

2 СНиП 2.06.06-85. Плотины бетонные и железобетонные. – М.: Госстрой СССР, 1986. - 40 с.

3 Чайка Ю.И., Гвоздецкий А.В., Вакуленко С.В., Бондаренко Л.Г., Мозговой А.А., Кисляк Е.А. Моделирование температурного режима бетонной плотины на р. Бо во Вьетнаме. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2011.– Вип.63. – С.516-521.

4 СНиП 2.06.08-87. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 32 с.

5 Фрид С.А. Температурные напряжения в бетонных и железобетонных конструкциях гидротехнических сооружений / Фрид С.А. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 72 с.

6 Бетонные плотины на скальных основаниях / Гришин М.М., Розанов Н.П., Белый Л.Д. и др. – М.: Стройиздат, 1975. – 352 с.