

УДК 624.121.54

Кузло М. Т., д.т.н. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРУНТОВИХ СПОРУД В УМОВАХ ЗМІННОГО РІВНЯ ВОДИ У ВОДОЙМИЩІ

Наведено теоретичні основи з визначення оптимальних параметрів ґрунтових споруд, експлуатація яких передбачається в умовах змінного рівня води у водоймищах.

**Ключові слова:** ґрунтові споруди, математична модель, гребля.

**Вступ.** У будівництві водогосподарських об'єктів широко застосовуються ґрунтові споруди різноманітного призначення. Нерідко експлуатація цих споруд відбувається в умовах змінного рівня води у водоймищі. У такому випадку на надійність, довговічність і безперебійну експлуатацію споруд впливають наступні фактори: швидкість зниження рівня води у водоймищі, гідродинамічні сили від неусталеного фільтраційного потоку, геометричні параметри споруди, зміна фізико-механічних властивостей ґрунту тіла і основи споруди та інші фактори.

**Аналіз останніх досліджень.** Оцінка стану ґрунтових споруд, експлуатація яких в умовах змінного рівня води у водоймищі виконується з урахуванням названих факторів, дозволить детально вивчити роботу конструкцій і вибрати з них найбільш економічну для певних інженерно-геологічних умов будівництва і експлуатації. Під конструкцією в даному випадку розуміємо не тільки геометричні параметри споруди, але і її експлуатаційні особливості.

Разом з тим, у нормативній і технічній літературі стверджується, що нема доскональних методик розрахунку оптимальних параметрів споруд, експлуатація яких здійснюється в умовах змінного рівня води у водоймищі.

**Методика досліджень.** Для вирішення згаданої проблеми автор використав елементи математичної теорії планування експерименту. Ця методика, зокрема, дозволяє зменшити кількість можливих розрахунків і врахувати взаємний вплив різних факторів, що є важливим показником у проектуванні ґрунтових споруд. Для цього, як стверджується в роботах [1] і [2], найбільш ефективно використовувати план повнофакторного або дрібнофакторного експерименту.

Відомо, що в теорії планування експерименту застосовують математичну модель, яку можна записати у вигляді

$$Y = f(X, B), \quad (1)$$

де  $Y$  – функція відгуку (у нашому випадку коефіцієнт запасу стійкості укосу);  $X$  – фактор, що вивчається;  $B$  – вектор параметрів моделі.

У рівнянні (1) функція  $f$  задається. Автор на основі багаточисельних розрахунків стійкості ґрунтових укосів з врахуванням змінного рівня води у водоймищі дійшов висновку, що вона може мати як лінійний, так і нелінійний характер.

Найбільш широкого застосування у визначенні параметрів ґрунтових споруд отримала поліноміальна регресивна модель:

$$Y = f(X, B) = B_0 \varphi_0(X) + B_1 \varphi_1(X) + B_2 \varphi_2(X) + \dots + B_j \varphi_j(X) + \dots + B_n \varphi_n(X), \quad (2)$$

де  $f_0(X), f_1(X), f_2(X), \dots, f_j(X), \dots, f_n(X)$  – транспонірований вектор

– ряд базисних функцій факторів  $X$ , що не залежать від параметрів моделі;

$B_0, B_1, B_2, \dots, B_j, B_n$  – транспонірований вектор параметрів моделі.

У виразі змінна  $X$  задається у деякій області, що визначається факторним простором. Тільки параметри моделі  $B_j, B_n$  незалежні, і їх необхідно визначити на основі розрахунку-експерименту і його статистичної обробки.

**Постановка завдання.** За умовами використання регресивних математичних моделей є можливим встановити не тільки оптимальні параметри ґрунтової споруди, а і небезпечну швидкість зниження рівня води у водоймищі. Для цього, на основі розрахунку-експерименту і його статистичної обробки необхідно отримати поліноміальне рівняння типу (2) з відомими коефіцієнтами  $B_j, B_n$ . У лівій частині цього рівняння знаходиться невідома змінна  $Y$  (коефіцієнт запасу стійкості ґрунтового укосу). Його значення можна задати, виходячи з класу капітальності споруди на основі нормативних документів, а для певних типів ґрунтових споруд прийняти рівним 1. Потім розв'язати рівняння (2) відносно змінної  $X_1$ , якою виражена швидкість зниження рівня води і при заданих значеннях інших змінних  $X_n$ . Результат і є небезпечною швидкістю зниження рівня води у водоймищі.

**Результати досліджень.** Для прикладу наведемо результати визначення оптимальних параметрів і небезпечної швидкості зниження рівня води у водоймищі протиповеневої греблі (заплава р. Дністер Львівської області). Основні геометричні параметри греблі наведені на рис. 1.

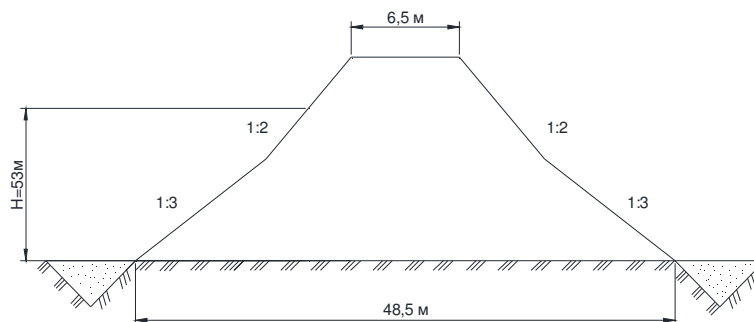


Рис. 1. Основні геометричні параметри протиповеневої греблі в заплаві р. Дністер

Тіло греблі влаштовано із суглинка з наступними фізико-механічними властивостями:  $\rho = 1,65 \text{ г/см}^3$ ;  $\varphi = 23^\circ$ ;  $C = 0,042 \text{ мПа}$ . В основі греблі розміщені водопроникливі глинисті ґрунти. Основні їх різновиди і фізико-механічні властивості наведені у табл. 1.

Вибираємо основні фактори, що впливають на параметри греблі і їх кількість. У наведеному прикладі кількість основних факторів, що досліджувались, дорівнює трьом, а саме: швидкість зниження води у водоймищі  $V$ ; коефіцієнт закладання укосу  $m$ ; критерій  $\alpha$ , що характеризує розміщення в тілі греблі кривої депресії від неусталеного фільтраційного потоку [3].

За результатами досліджень, що наведені у роботі [4], характер зміни значення коефіцієнта стійкості укосу при зниженні рівня води у водоймищі може мати з деяким допущенням лінійну залежність. У зв'язку з цим використовуємо лінійну математичну модель, яка для випадку варіації трьох факторів має вигляд:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \quad (3)$$

де  $x_1$  – швидкість зниження рівня води у водоймищі,  $0,1 \text{ м/добу} \leq x_1 \leq 1,0 \text{ м/добу}$ ;  $x_2$  – критерій розміщення в тілі греблі кривої депресії від неусталеного фільтраційного потоку,  $0,05 \geq \alpha \geq 5,0$ ;  $x_3$  – коефіцієнт закладання укосу,  $2 \geq m \leq 3$

Фізико-механічні властивості ґрунту основи греблі

Різновид ґрунту	Щільність часток $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Щільність ґрунту $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Вологість $\omega$ , %	Кут внутрішнього тертя $\varphi^0$	Питоме зчеплення $C$ , кг/см <sup>2</sup>	Коефіцієнт фільтрації $K_f$ , м/добу
Глина м'яко-пластична	2,65	1,6	50	8	0,15	0,1+ 0,8
Суглинок тугопластичний	2,68	1,70	40	10	0,15	0,1+ 1,0
Супіски пластичні	2,68	1,65	38	15	0,10	0,2+ 1,5

Кількісне значення критерія  $\alpha$  визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{K_f}{\mu \cdot V \cdot m}, \quad (4)$$

де  $K_f$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту тіла греблі;  $V$  – швидкість зниження рівня води у водоймищі;  $m$ ,  $\mu$  – відповідно коефіцієнти закладання укусу і водовіддачі ґрунту тіла греблі.

Матриця вибраного плану і результати розрахунку коефіцієнта стійкості укусу наведені в табл. 2.

Визначення коефіцієнту стійкості укусу виконувалось на ПЕОМ за формулами К. Терцаги, Р. Чугаєва, А. Бішоп.

На основі розрахунків і їх статистичної обробки отримана поліноміальна математична модель:

$$y = 1.310 - 0.0773x_1 + 0.0123x_2 + 0.0258x_3 - 0.0051x_1x_2 - 0.0061x_1x_3 - 0.00237x_2x_3. \quad (5)$$

Таблиця 2

Матриця плану і результати розрахунку коефіцієнта стійкості укусу

Фактори			Паралельні розрахунки			Середнє значення
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y
-1	-1	-1	1,299	1,418	1,289	1,355
+1	-1	-1	1,178	1,282	1,151	1,204
-1	+1	-1	1,340	1,452	1,337	1,376
+1	+1	-1	1,189	1,299	1,179	1,222
-1	-1	+1	1,370	1,484	1,361	1,405
+1	-1	+1	1,215	1,325	1,203	1,246
-1	+1	+1	1,400	1,510	1,393	1,434
+1	+1	+1	1,225	1,335	1,215	1,258

Примітка: позначення «+1» показує максимальне значення кожного фактора, «-1» – мінімальне.

Для визначення небезпечної швидкості зниження рівня води у водоймищі розглянемо рівняння (5). У цьому рівнянні знаходиться три змінні  $x_1$  з постійними коефіцієнтами, що отримані на основі розрахунку. Згідно з прийнятими позначеннями змінна  $x_1$  характеризує швидкість зниження рівня води у водоймищі. Розв'язавши рівняння (5) відносно  $x_1$  при заданих значеннях  $x_2$   $x_3$  і  $y$ , отримаємо певне значення небезпечної швидкості зниження рівня води у водоймищі. Якщо змінювати  $x_2$   $x_3$  і  $y$ , то отримуємо нове значення  $x_1$ . Таким чином, можна стримати необхідну кількість розрахункових даних, що дозволить побудувати номограму (рис. 2), за допомогою якої можна встановити небезпечну швидкість зниження рівня води у водоймищі.

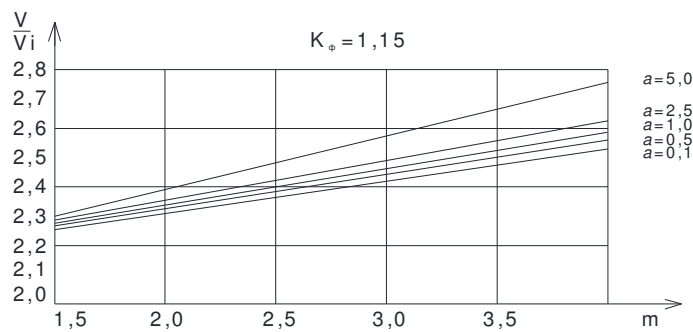


Рис. 2. Номограма для визначення параметрів греблі і швидкості зниження води у водоймищі

**Висновок.** Запропонована методика дозволяє встановити оптимальні параметри ґрунтових споруд і небезпечну швидкість зниження рівня води у водоймищі, а також забезпечити надійність і довговічність споруд з найменшими економічними затратами.

1. Мельник В. Г. Исследования плотин из местных материалов с помощью планирования эксперимента / В. Г. Мельник // – М. : Труды ин-та ВОДГЕО, 1974. – Вып. 44. – С. 14–20.
2. Рассказов Л. Н., Орехова И. Л. Оптимизация конструкций грунтовых плотин / Л. Н. Рассказов, И. Л. Орехова // Гидротехническое строительство: Научно-технический журнал. – № 7. – Москва, 1985. – С. 32–37.
3. Можевитинов А. Л., Сулейманов И. А.-Г. Критерий необходимости учета неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах при оценки устойчивости откосов / А. Л. Можевитинов, И. А.-Г. Сулейманов // Сб. Научных трудов “Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева” – № 135 – Л., 1979. – С. 24–26.
4. Кузло М. Т., Романенко Е. М., Федорчук Г. Ф. Вплив фільтраційних сил на стійкість грантових споруд під час зниження рівня води / М. Т. Кузло, Е. М. Романенко, Г. Ф. Федорчук // Меліорація і водне господарство. – К., 1998. – Випуск 85. – С. 140–142.

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

**Kuzlo M. T., Doctor of Engineering** (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

#### **DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETRES OF SOIL STRUCTURES UNDER CONDITIONS OF CHANGED LEVEL OF WATER IN THE BASIN**

Theoretical basis about optimal parametres of soil structures, exploitation of which is anticipated under conditions of changed level of water in basins have been outlined.

**Keywords: soil structures, mathematic model, dam.**

**Кузло Н. Т., д.т.н.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

#### **ОПРИДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ ВОДЫ У ВОДОЁМЕ**

Приведены теоретические основания по определению оптимальных параметров грунтовых сооружений, эксплуатация которых предусматривается в условиях переменного уровня воды у водоёме.

**Ключевые слова: грунтовые сооружения, математическая модель, плотина.**