

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:

$$Y = f(X, B) = B_0 \varphi f_0(X) + B_1 \varphi f_1(X) + B_2 \varphi f_2(X) + \dots + B_j \varphi f_j(X) + \dots + B_n \varphi f_n(X), \quad (2)$$

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.

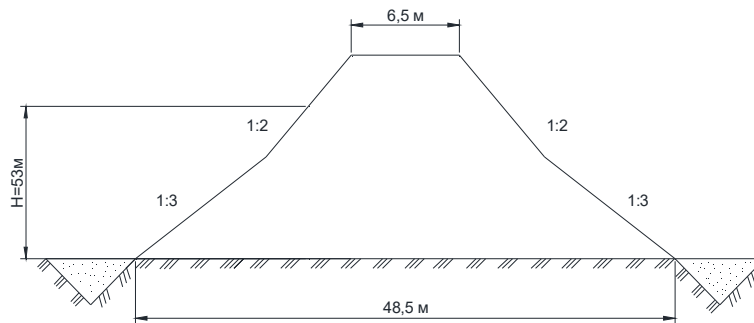


Рис. 1. Основні геометричні параметри протиповеневої греблі в заплаві р. Дністер

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,  $0,05 \geq \alpha \leq 5,0$ ;  $x_3$  – 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. Бішопа.

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.

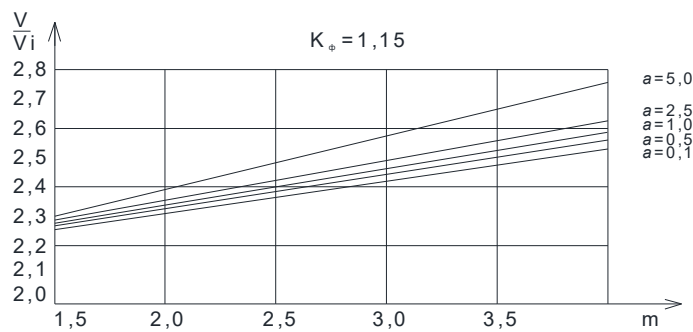


Рис. 2. Номограма для визначення параметрів греблі і швидкості зниження води у водоймищі

**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 ґрунтових 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.**