

Міністерство освіти і науки України
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Національний університет цивільного захисту України
Slovak University of Technology (Словаччина)
RWTH Aachen University (Німеччина)
University of Sannio (Італія)
Polytechnic University of Valencia (Іспанія)
Warsaw University of Technology (Польща)

X Міжнародна конференція
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНОЇ
МЕХАНІКИ

X International Conference
ACTUAL PROBLEMS OF ENGINEERING
MECHANICS



ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
ABSTRACTS OF REPORTS

Одеса, 5-7 червня 2024 року



[6]. Сингаевский П.М. Определение рационального типа сечения верхнего жесткого пояса в комбинированных арочных системах / П.М. Сингаевский, Ю.В. Купченко, О.М. Коршак // Вісник ОДАБА, Одеса: ОДАБА, 2019. Вип. 74. С.58-66.

[7]. Бояджи А.А. Экспериментальное исследование прочности и деформативности комбинированной металлодеревянной арочной конструкции / В.В. Стоянов, А.А. Бояджи // ИВУЗ, Лесной журнал: 2015. № 3(345). С.93-103.

FEATURES AND EFFECTIVENESS OF A RATIONAL METHOD FOR CREATING PRESTRESS IN COMBINED ARCH SYSTEMS

In this article, the authors analyze known methods for creating prestressing combined arch systems with a rigid curved upper belt, and a lattice of flexible elements. They focus on the positive features of each of the considered methods, and note the disadvantages as well. In such structures, prestressing creates a constructive shape, ensures the strength and rigidity of the structure, as well as the ability of flexible lattice elements to perceive compressive forces. Since only tensile forces occur in the elements of a flexible lattice, it is rational to make it from high-strength steel (steel ropes, bundles of high-strength wire). The cross sections of the lattice elements turn out to be relatively small.

Based on the analysis of known methods of creating prestress in combined arch systems, the authors propose the most rational one.

УДК 627.514

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД ХВОСТОСХОВИЩ

Радчук О.Д.

ДІ «УкрНДІводоканалпроект», м. Київ

Хвостосховища є важливими інженерними спорудами, які мають значний екологічний, економічний та соціальний вплив, тому їх надійності та безпеці приділяється велика увага. В Україні хвостосховища відносяться до потенційно небезпечних об'єктів, і їх надійність та безпека повинні забезпечуватися під час будівництва, експлуатації та консервації. Специфіка таких об'єктів полягає в тому, що будівництво огорожувальних споруд хвостосховищ виконується, як правило, не відразу на повну висоту, а поетапно, по мірі заповнення ємності хвостосховища. Оцінка надійності дамб хвостосховищ є складним завданням, що враховує багато факторів, які визначають їх стан, зокрема зміну технологічних параметрів в процесі експлуатації хвостосховища (висоти дамби, закладення низового відкосу, об'єму і виду матеріалу, що складується), значну мінливість експлуатаційних

навантажень і впливів, та властивостей ґрунтів тіла дамби та основи, що суттєво ускладнює вибір методів, розрахункових схем та сполучень навантажень.

В даний час для оцінки надійності та безпеки огорожувальних споруд хвостосховища використовуються два підходи [1,2]. Перший традиційний (детерміністичний) підхід, в основі якого покладений метод граничних станів. Другий підхід пов'язаний з використанням імовірнісних методів сучасної теорії надійності. Даною роботою розглянуто комплексну методику оцінки стійкості огорожувальних споруд хвостосховищ та виконано порівняльний аналіз результатів, отриманих за допомогою детермінованого та імовірнісного підходів. Моделювання геофільтраційних та геомеханічних процесів виконано на прикладі хвостосховища ПРАТ «ПОЛТАВСЬКИЙ ГЗК» з використанням програмного комплексу GeoStudio 2012 методом граничної рівноваги (детерміністичний підхід) та методом статистичних випробувань Монте Карло (імовірнісний підхід).

На першому етапі проведено фільтраційні розрахунки для визначення положення кривої депресії в тілі дамби хвостосховища, градієнтів напору та порового тиску. Загальне диференційне рівняння фільтрації в умовах стаціонарного режиму може бути визначене як:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = 0, \quad (1)$$

де H – повний напір, k_x , k_y – коефіцієнти фільтрації ґрунту по осі x та y відповідно, Q – об'ємна витрата.

Результати моделювання фільтраційного стаціонарного режиму через тіло дамби хвостосховища представлені на рис. 1.

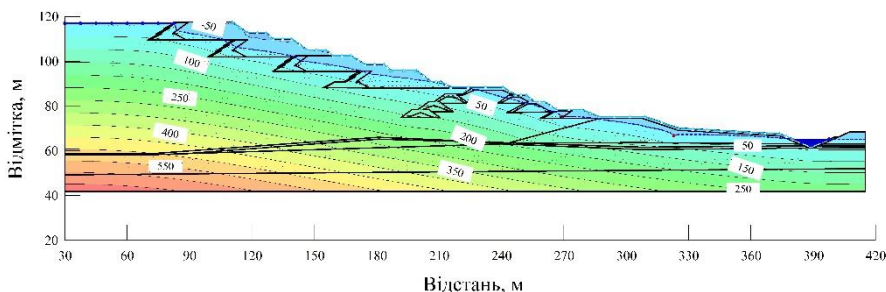


Рис. 1. Результати моделювання фільтраційного стаціонарного режиму через тіло дамби хвостосховища

Критерієм забезпечення стійкості низового відкосу хвостосховища є виконання для найнебезпечнішої призми зсуву нерівності [3]:

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{R}{\gamma_n}, \quad (2)$$

де F – узагальнене розрахункове значення активних сил (або моментів цих сил) відносно центра поверхні ковзання, R – узагальнене розрахункове значення сил (або їх моментів) граничного опору зсуву до поверхні, що розглядається, γ_{lc} – коефіцієнт сполучення навантажень, γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю.

При пошуку небезпечної поверхні зсуву може бути використана залежність для коефіцієнту стійкості (коефіцієнту запасу стійкості):

$$k_s = \frac{R}{F} \quad (3)$$

Тоді умова (2) може бути записана як:

$$k_s \geq [k_s], \quad (4)$$

де $[k_s]$ – допустиме (нормативне) значення коефіцієнту запасу стійкості:

$$[k_s] = \gamma_n \gamma_{lc} \quad (5)$$

Розрахунки стійкості низового відкосу дамби хвостосховища з використанням теорії граничної рівноваги виконані за методами Бішопа (на основі рівноваги моментів), Янбу (на основі рівноваги сил) та Моргенштерна-Прайса (на основі рівноваги моментів і сил) і представлені в табл. 1 та на рис. 2.

Таблиця 1

Результати розрахунку стійкості дамби хвостосховища

Коефіцієнт запасу стійкості	метод Бішопа	метод Янбу	метод Моргенштерна- Прайса
k_s	1,342	1,256	1,272

Розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості не перевищує нормативний $[k_s]=1,25$.

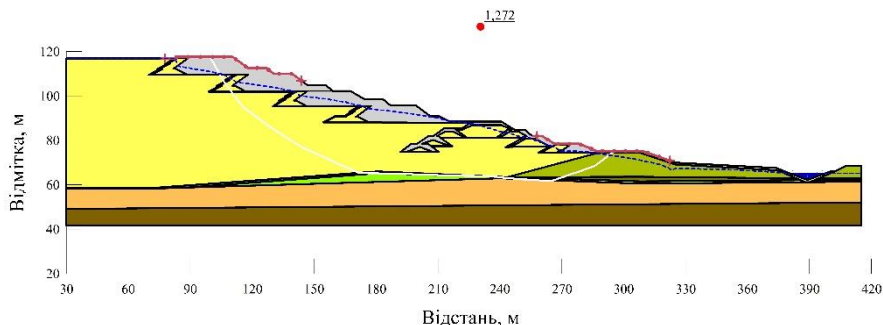


Рис. 2. Розрахунок стійкості (метод Моргенштерна-Прайса)

Отримані на основі детерміністичних методів коефіцієнти запасу стійкості відкосу в дійсності не визначають фактичний рівень небезпеки, оскільки неможливо встановити взаємозв'язок між ними і вірогідністю виникнення аварії хвостосховища. Більш об'єктивна оцінка надійності та безпеки огорожувальних споруд хвостосховища може бути отримана імовірнісними методами сучасної теорії надійності. Сутність імовірнісного аналізу полягає в отриманні імовірнісної функції розподілення коефіцієнта стійкості низового відкосу дамби хвостосховища в залежності від імовірнісних функцій розподілення факторів (міцнісних характеристик ґрунтів, положення депресійної поверхні, сейсмічного впливу тощо). Найбільш поширеним і надійним методом імовірнісної оцінки стійкості огорожувальних споруд хвостосховищ є метод статистичних випробувань Монте Карло, при якому імовірність виникнення аварії визначається шляхом ділення кількості модельних розрахунків з $k_s < 1,0$ на загальну кількість розрахунків:

$$p_f = \frac{N_{k_s < 1}}{N} \quad (6)$$

Іншим показником кількісної оцінки ризику виникнення аварійної ситуації є індекс надійності:

$$\beta = \frac{\mu_{k_s} - 1}{\sigma_{k_s}}, \quad (7)$$

де μ_{k_s} – середнє значення розрахункового коефіцієнту запасу стійкості, σ_{k_s} – середньоквадратичне відхилення коефіцієнту запасу стійкості.

При аналізі фізико-механічних властивостей ґрунтів хвостосховища виявлено, що найбільш суттєвий вплив на його стійкість мають ґрунти первинної дамби та наливні хвости. Параметри щільності ґрунту, питомого зчеплення та кута внутрішнього тертя даних матеріалів було прийнято в якості випадкових величин при моделюванні методом Монте Карло. При виконанні розрахунку була прийнята кількість статистичних випробувань $N=10^6$. Отримане в результаті розрахунку значення щорічної імовірності втрати стійкості дамби хвостосховища рівне $1,44 \times 10^{-6}$, що не перевищує допустимого значення для гідротехнічних споруд класу наслідків (відповідальності) СС3 5×10^{-5} . Індекс надійності складає 2,92. Таким чином, виконана імовірнісна оцінка показала, що надійність і безпека дамби хвостосховища ПРАТ «ПОЛТАВСЬКИЙ ГЗК» забезпечена.

Результати дослідження можуть застосовуватися при оцінці стійкості огорожувальних споруд хвостосховищ.

[1]. E.I. Ramly. Probabilistic Slope Stability Analysis for Practice / E.I. Ramly [та ін.]/ Canadian Geotechnical Journal. 2002. С. 665-683.

- [2]. D. V. Griffiths. Comparison of Slope Reliability Methods of Analysis / D. V. Griffiths [та ін.]/ GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design. 2010. С. 1952-1961.
- [3]. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Чинний від 01.01.2011. Вид. офіц. Київ: ДП НДІБК, 2010. 37 с.

ASSESSMENT OF TAILINGS DAM STABILITY

During the construction and operation of tailings dams at mining and processing plants, the most significant attention is paid to ensuring their reliability and safety, as the failure of these structures leads to catastrophic consequences. The assessment of the reliability of the tailings dam is a complex task that takes into account many factors determining their condition, namely changes in technological parameters during the operation of the tailing storage facility, operational regimes, significant variability of acting loads, impacts, and the properties of the soils of the dam body and foundation. Currently, two approaches are used to assess the reliability and safety of tailings dams. The first is the traditional (deterministic) approach based on the limit state method. The second approach involves the use of probabilistic methods from reliability theory. This study presents a comprehensive methodology for assessing the stability of the tailings dam and conducts a comparative analysis of the results obtained using deterministic and probabilistic approaches. The modeling of geofiltration and geomechanical processes was performed using the example of the tailing storage facility of Ferrexpo Poltava Mining with the GeoStudio 2012 software, employing the limit equilibrium method (deterministic approach) and the Monte Carlo simulation method (probabilistic approach).

УДК 624.13

ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ НА СЛАБКИХ ГРУНТАХ

Рашкевич Н.В., PhD, Отрош Ю.А., д.т.н., проф.
Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

Для будівництва використовують різні типи фундаментів. Фундамент є найважливішою будівельною конструкцією, яка витримує навантаження. Від правильного вибору цієї конструкції залежить міцність та надійність всієї будівлі. Вибір фундаменту залежить від типу та розмірів будівлі, рівня ґрунтових вод, а також основних характеристик ґрунту. Ґрунти з високою несучою здатністю здатні витримувати великі навантаження без значних деформацій, тоді як з низькою – піддаються ущільненню або зсувам.

Будівництва висотних будівель та іншої інфраструктури вимагає відповідного ґрунту для основ. З огляду на потреби раціонального