

ВИКОРИСТАННЯ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ GEOSTUDIO ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ В ҐРУНТОВИХ СПОРУДАХ

Світлана Величко¹, Олена Дупляк²

Київський національний університет будівництва і архітектури,
31, проспект Повітряних Сил, Київ, 03037, Україна

¹ канд. тех. наук., velychko.sv@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-8848-289X

² канд. тех. наук., dupliak.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-3500-5106

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.51.12-20

Анотація. Сучасні тенденції розвитку освітнього середовища вимагають скорочення аудиторних годин на проведення лекцій та практичних занять. В той же час висувуються високі вимоги щодо професійних компетенцій майбутніх спеціалістів. Розрахунок фільтрації в ґрунтах та визначення положення кривої фільтрації має велике значення для розрахунку гідротехнічних споруд. Використання спеціальних розрахункових програм дозволяє виконати більшу кількість необхідних розрахунків за короткий час, візуалізація результатів дозволяє здобувачам розглянути різні конструкції ґрунтових напірних споруд та наочно вивчити особливості фільтраційних процесів в тілі ґрунтової греблі. Практика впровадження інформаційних технологій в навчальному процесі сприяє збільшенню мотивації і задоволення здобувачів від використання програмних комплексів та підвищує їх конкурентну здатність на ринку праці. Для вивчення фільтрації в тілі греблі традиційно використовуються або розрахунки вручну, або лабораторні фізичні моделі для візуалізації положення кривої фільтрації в тілі греблі, але фізичні моделі дозволяють вивчити тільки сталу конструкцію греблі. GeoStudio та його складова Seep/W для розрахунків фільтрації широко використовується в навчальних закладах для проведення наукових досліджень та інженерних розрахунків. В статті наведений приклад застосування ПК Seep/W для проведення лабораторних робіт по вивченню фільтрації в тілі ґрунтової греблі різних конструкцій. Під час лабораторних робіт здобувачі також вивчають вплив фільтраційних властивостей ґрунту, напору, дренажних пристроїв на положення кривої фільтрації в тілі греблі. Використання сучасного програмного комплексу дозволяє ознайомити здобувачів з особливостями розрахунку фільтрації, що сприяє розвитку індивідуальної траєкторії здобувача.

Ключові слова: фільтраційний розрахунок, Seep/W, фільтрація в тілі греблі, стаціонарна фільтрація, програмне забезпечення.

ВСТУП

Вивчення руху фільтраційного потоку в ґрунтах, встановлення положення кривої фільтрації та визначення втрат на фільтрацію крізь ґрунтові споруди є важливою складовою розрахунків напірних гідротехнічних споруд [1]. Сучасні вимоги до освіти в будівельній галузі вимагають від здобувачів набуття компетенції використання інформаційних технологій та сучасних підходів до розрахунку гідротехнічних споруд. Тому все більше уваги приділяється опануванню

здобувачами сучасних програмних комплексів.

Одним із сучасних програм розрахунку фільтрації в ґрунтах, який пропонує безкоштовну студентську версію є GeoStudio з модулем фільтраційних розрахунків Seep/W. Даний програмний комплекс активно використовується в вищих навчальних закладах при проведенні наукових досліджень [2].

ПК Seep/W використовується для досліджень впливу довжини дренажів, коефіцієнтів фільтрації та загального напору на стійкість укосу напірної ґрунтової споруди [3,4].

В статті [5] проводили порівняння фільтраційних властивостей ядра з глини та бетонної діафрагми на основі моделювання на ПК Seep/W.

В науковій літературі приділяється значна увага вивченню неусталеної фільтрації та її впливу на стійкість верхового укосу греблі [6,7]. Вивчення впливу швидкості пониження рівня води на стійкість укосів стало можливим завдяки комп'ютерного моделювання фільтрації в ґрунтах методом скінченних елементів [8].

Науковою спільнотою вивчаються не тільки греблі водосховищ, в роботі [9] проводилось моделювання за допомогою SEEP/W, SLOPE/W та SIGMA/W складування водонасичених хвості переробки металургійних руд та оцінювалась стійкість хвостосховища. В роботі [10] проведене чисельне моделювання за допомогою програмного забезпечення GeoStudio на вугільній шахті Фушунь Вест, яку планують використовувати як резервуар гідроакумуючої електростанції.

Науковці Університету Себелас Марет (Індонезія) оцінили ефективність свердловин для поповнення ґрунтових вод за допомогою повномасштабних польових експериментів та 3D-чисельного моделювання за допомогою GeoStudio SEEP/W [11].

Спеціальні комп'ютерні програми використовують в якості дидактичного матеріалу в Європейських країнах. Здобувачі Сілезького технологічного університету [12] відмічають, що комп'ютерні програми, пов'язані з інженерною практикою, найбільш корисні для майбутньої професійної кар'єри.

В статті [13] геотехнічна група Гонконгського політехнічного університету розробила комп'ютерну освітню платформу ErosSSA (Eros-Slope-Stability-Analysis), щоб забезпечити студентам-будівельникам краще розуміння аналізу стійкості схилів та відзначили задоволення здобувачів можливістю моделювання в комп'ютерному середовищі. В роботі [14] розглянута методика використання некомерційного програмного забезпечення для інтенсифікації процесу навчання інженерів технічних і будівельних

спеціальностей, що має великий освітній і розвивальний потенціал, забезпечує зменшення витрат часу на рутинні обчислення і дозволяє розв'язати більшу кількість задач. В статті [15] для вивчення розрахунків фільтрації та стійкості укосів в якості дидактичного інструменту використовувались ПК Slide2 та Slope/W, Seep/W. Анкетування студентів показало, що знайомство з геотехнічними програмами сприяє навчанню та розумінню практичних проблем, а також дозволяє набагато швидше та ефективніше вирішувати низку геотехнічних інженерних проблем.

В КНУБА на кафедрі водопостачання та водовідведення використовується спеціальне програмне забезпечення для розрахунків фільтрації під гідротехнічними спорудами [16]. Авторський метод трьох команд K123 в середовищі CAS MAXIMA використовується для розрахунків найвигіднішого перерізу каналу [17], розрахунків сили гідростатичного тиску на поверхні [18].

Актуальність теми

Сучасні підходи до методик викладання освітніх компонентів в навчальному процесі базується на використанні сучасного програмного забезпечення для проведення розрахунків та аналізу результатів. Впровадження моделювання фільтрації в ґрунтових спорудах у навчальному процесі дозволяє з одного боку вивчити вплив конструктивних та гідравлічних чинників на стаціонарну фільтрацію, з другого боку дозволяє ознайомити здобувачів з сучасним розрахунковим програмним комплексом під час практичної підготовки, що вимагає від викладача розроблення нових методичних підходів при проведенні лабораторних робіт.

Мета досліджень

Дослідити можливість використання ПК Seep/W для проведення лабораторних досліджень фільтрації в тілі греблі.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Під час лекційних занять курсу «Гідротехнічні споруди» здобувачі знайомляться з теоретичними основами та методами розра-

хунку фільтрації в ґрунтових напірних спорудах. Результатом фільтраційного розрахунку є положення кривої фільтрації в тілі греблі, перевірка фільтраційної міцності, та фільтраційної витрати через переріз.

Розрахунок положення кривої фільтрації в тілі однорідної греблі вручну виконується на основі методики викладеної в [19] за залежностями:

Координата кривої фільтрації визначаються за формулою (1):

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k_T} (L - x - m_t a_0) + (H_2 + a_0)^2}, \quad (1)$$

де h_x – висота від основи греблі, м; q – питома витрата через переріз греблі, м³/(м·с); k_T – коефіцієнт фільтрації тіла греблі, м/с; L – відстань по горизонталі між рівнем води в верхньому та нижньому б'єфах, м; x – відстань по горизонталі від точки перетину рівня води з укосом верхнього б'єфу, м; m_t – закладання низового укосу, м/м; a_0 – перевищення над рівнем води в нижньому б'єфі, м; H_2 – глибина води в нижньому б'єфі, м.

Співвідношення питомої витрати через греблю до коефіцієнта фільтрації:

$$\frac{q}{k} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L_p}, \quad (2)$$

де H_1 – напір води в верхньому б'єфі, м; L_p – розрахункова довжина фільтрації, м.

Розрахункова довжина фільтрації:

$$L_p = L + \Delta L_B, \quad (3)$$

де ΔL_B – довжина подовження лінійної ділянки фільтрації, яка визначається за формулами:

$$\Delta L_B = \beta_B H_1, \quad (4)$$

$$\beta_B = \frac{m_h}{2m_h + 1}, \quad (5)$$

де m_h – закладання верхового укосу, м/м.

Перевищення виходу кривої фільтрації на низовий укос над рівнем води в нижньому б'єфі визначається за формулами:

$$a_0 = a + \sqrt{a^2 + \frac{m_t}{2f(m_t)} H_2 \frac{q}{k}}, \quad (6)$$

$$a = 0,5f(m_t) \frac{q}{k} - 0,5 \left[1 + \frac{m_t}{2(f(m_t))^2} \right] H_2, \quad (7)$$

$$f(m_t) = 0,5 + m_t, \quad (8)$$

Розрахунок кривої фільтрації в тілі греблі з ядром визначається способом віртуальної довжини за формулами [19]:

$$\delta_{cp} = \frac{(\delta_1 + \delta_2)}{2}. \quad (9)$$

$$\Delta L_{я} = \frac{k_T}{k_{я}} \delta_{cp}, \quad (10)$$

де δ_1, δ_2 – товщина ядра зверху та знизу, м; $k_{я}$ – коефіцієнт фільтрації ядра, м/с.

Гребля з ядром розраховується як однорідна гребля, яка має віртуальну ширину більшу за реальну на $\Delta L_{я}$. Після збільшення ширини греблі розрахунок проводиться за формулами (1)-(8) для однорідної греблі з розрахунковою довжиною фільтрації:

$$L_p = \Delta L_B + L + \Delta L_{я}. \quad (11)$$

Розрахунок фільтрації через однорідну греблю з дренажною призмою виконується за нижче наведеними формулами.

Горизонтальна довжина від початку дренажної призми до точки входу фільтраційного потоку в призму [19]:

$$\Delta L_H = \frac{m_1^1 H_2}{3}, \quad (12)$$

де m_1^1 – закладання внутрішнього укосу дренажної призми, м/м.

Розрахункова довжина фільтрації:

$$L_p = \Delta L_B + L_1 + \Delta L_H. \quad (13)$$

де L_1 – довжина по горизонталі між рівнем води в верхньому б'єфі та початком дренажної призми, м.

Висота кривої фільтрації над рівнем води в нижньому б'єфі в точці початку дренажної призми H_0 :

$$H_0 = \sqrt{H_1^2 - 2 \frac{q}{k} (L_1 + \Delta L_B)} - H_2. \quad (14)$$

Координати кривої фільтрації визначаються за формулою (15):

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k} (L_1 - x + \Delta L_H) + (H_2 + H_0)^2}. \quad (15)$$

В основу розрахунку фільтрації в двовимірних умовах на ПК Seep/W покладене диференційне рівняння усталеного фільтраційного потоку [20]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0, \quad (16)$$

де H – п'єзометричний напір, м; k_x – коефіцієнт фільтрації в напрямку x , м/с; k_y – коефіцієнт фільтрації в напрямку y , м/с.

Функція об'ємної вологоємності для різних ґрунтів (глина, пісок, гравій, суглинок, супісок) приймалась за зразками функцій наведеними в ПК. Для встановлення зміни водопровідності використаний Метод Ван Генухтена.

Послідовність розрахунку на ПК Seep/W:

- побудова геометричної моделі греблі (рис.1);
- призначення властивостей ґрунтів: тип ґрунту, функції об'ємної вологості, коефіцієнту фільтрації, залишкової вологості;

- призначення граничних умов: напору верхнього та нижнього б'єфів, дренажу поверхні височування;
- розрахунок положення кривої фільтрації.

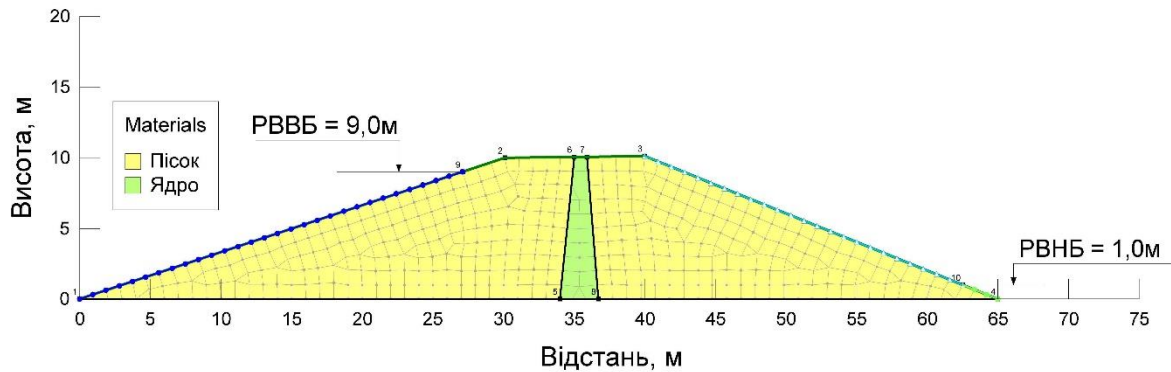


Рис. 1. Розрахункова схема: гребля з ядром на водонепроникній основі

Fig. 1. Calculation scheme: dam with a core on a waterproof base

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Фільтраційні розрахунки гідравлічним методом (за допомогою аналітичних формул) дозволяють визначити характеристики потоку в ґрунті, які необхідні для визначення конструкції греблі: положення кривої фільтрації в тілі греблі, загальну фільтраційну міцність та витрату через тіло греблі. Спрощення, які приймаються в розрахунках, є наступними: ґрунти ізотропні, фільтрація є усталеною, потік рухається в умовах

плоскої задачі. Методом скінченних елементів на ПК можна вирішувати більш складні задачі з великою кількістю шарів ґрунту, анізотропні ґрунти, 3D моделювання.

Розрахунок вручну за формулами гідравліки не є складним за умови прийнятих припущень, але зміна будь-якого конструктивного елементу вимагає повторення розрахунку. Результати розрахунків виконані вручну та за допомогою ПК Seep/W для різних конструкцій греблі наведені на рис. 2-4 та в таблиці 1.

Табл. 1. Результати розрахунків усталеної фільтрації в тілі греблі

Table 1. Results of steady seepage calculations in a dam

Конструкція греблі	Висота виходу на укіс, м		Витрата через греблю, $\text{м}^2/\text{с}$		Відхилення положення кривої, %
	Ручний	ПК Seep/W	Ручний	ПК Seep/W	
Однорідна	3,2	3,35	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$1,66 \cdot 10^{-5}$	0,5-1,9
З дренажною призмою	1,45	1,83	$2,14 \cdot 10^{-7}$	$6,85 \cdot 10^{-8}$	1,0-2,5
З ядром	1,14	1,01	$1,08 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	0,8-7,2

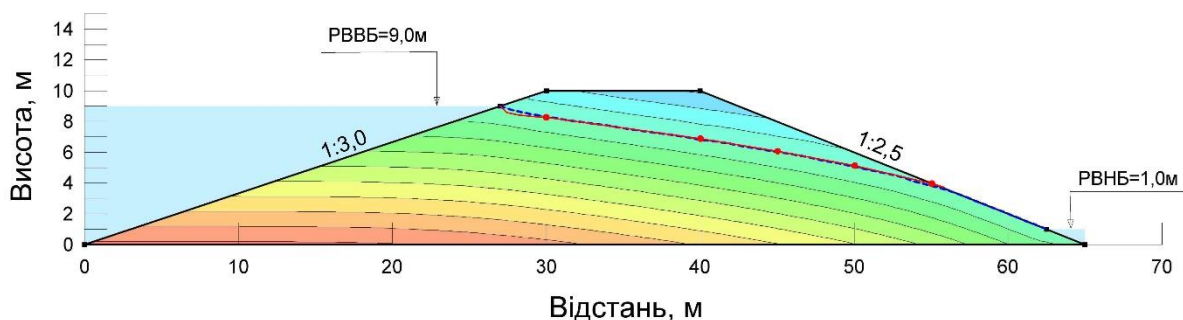


Рис. 2. Положення кривої фільтрації в тілі однорідної греблі: червоний – ручний розрахунок; синій розрахунок на Seep/W

Fig. 2. Seepage Curve location in an earthfill dam: red – manual calculation; blue – calculation by Seep/W

Положення кривої фільтрації в тілі греблі практично співпадає, середнє квадратичне відхилення для однорідних конструкцій не перевищує 2,5%, що знаходиться в межах похибки, в абсолютних величинах відхилення не перевищує 15 см. Дещо більше відхилення результатів розрахунку положення кривої фільтрації має місце для греблі з ядром (рис. 3), що імовірно пов'язано з усредненням ширини ядра під час розрахунку вручну, в той же час в абсолютних відмітках відхилення не перевищує 20 см.

Значення питомої витрати через одиницю перерізу ґрунтової греблі для всіх конструкцій значно відрізняються. Витрата розрахована вручну має більше значення ніж розрахунок на ПК, що імовірно пов'язано з використанням моделі насиченого-ненасиченого ґрунту в Seep/W.

Використання ПК Seep/W дозволяє моделювати ґрунтові гідротехнічні споруди без спрощення конструкції, що не збільшує витрату часу, але дозволяє виконати більш точні розрахунки. Інтерфейс програми простий і зручний, що дозволяє швидко вносити зміни в конструктивні елементи ґрунтової споруди, що дає можливість виконати декілька розрахунків та оцінити співвідношення граничних умов та параметрів конструктивних елементів на положення кривої фільтрації.

Використання ПК Seep/W в якості простору для моделювання фільтраційного потоку в ґрунтових спорудах дозволяє відтворити на моделях явища подібні натурним та встановити вплив окремих чинників: напір в нижньому та верхньому б'єфах, наявність протифільтраційного засобу, дренажу на положення кривої фільтрації.

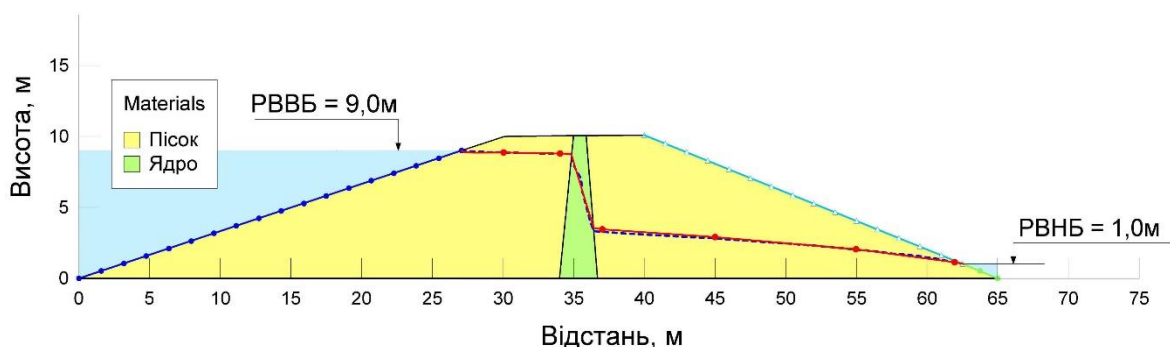


Рис. 3. Положення кривої фільтрації в тілі греблі з ядром: червоний – ручний розрахунок; синій – розрахунок на Seep/W

Fig. 3. Seepage Curve location in an earthfill dam with core: red – manual calculation; blue – calculation by Seep/W

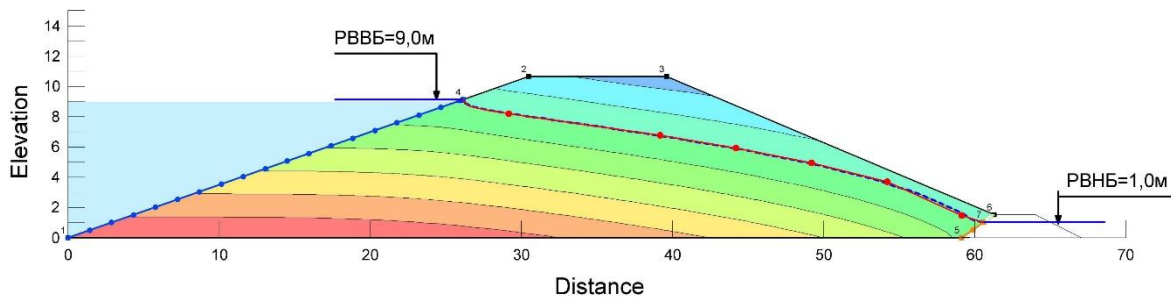


Рис. 4. Положення кривої фільтрації в тілі греблі з дренажем: червоний – ручний розрахунок; синій – розрахунок на Seep/W

Fig. 4. Seepage Curve location in an earthfill dam with drainage: red – manual calculation; blue – calculation by Seep/W

ВИСНОВКИ

Розрахунок фільтрації в ґрунтах та визначення положення кривої фільтрації є основою розрахунку ґрунтових гідротехнічних споруд.

Використання в якості дидактичного матеріалу спеціальних програмних комплексів є однією зі складових навчального процесу, який дозволяє здобувачам наочно вивчити особливості фільтрації в напірних ґрунтових спорудах різної конструкції.

В процесі виконання завдань під час лабораторних робіт здобувач знайомиться з теоретичними основами сучасних ПК та опановує роботу комп'ютерної програми.

Можливість швидко перебудовувати конструкцію греблі та легко змінювати граничні умови створює необмежену кількість різноманітних навчальних задач, дозволяє впроваджувати тестування власних рішень здобувача у навчальному процесі, особливо в умовах скорочення аудиторних занять.

Для проведення 4 лабораторних робіт згідно навчального плану пропонується наступний перелік:

- дослідження усталеного потоку через тіло однорідної греблі без дренажу;
- дослідження усталеного потоку через тіло однорідної греблі з дренажним пристроєм;
- дослідження усталеного потоку через тіло неоднорідної греблі;
- дослідження усталеного потоку через тіло однорідної греблі на водопроникній основі.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Перепічай І., Євзеров І., Киричок В.** Фільтрація у задачах геотехнічного проектування. Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції: тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 26-27 квітня 2023/КНУБА, Київ, 2023, 33-34. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/31/IV_2023_26.04.23.pdf
2. **He L., Shi L., Liu G.** Study on the Stability of Loess Landslides Based on Vegetation Characteristics and the Geo-Studio Model // Polish Journal of Environmental Studies, 2025, 34(4), 4143-4153. <https://doi.org/10.15244/pjoes/190012>
3. **Ахмед Т. М., Амін С. М.** Дослідження геометричних та гідравлічних впливів на міцність на тертя та зсув у земляних дамбах за допомогою параметричного аналізу з програмним забезпеченням Geostudio // Євразійський журнал науки та інженерії, 2024, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.23918/eajse.v10i1p1>
4. **Brontowiyono W., Hammid A. T., Jebur Y. M., Al-Sudani A. Q., Mutlak D. A., Parvan M.** Reduction of seepage risks by investigation into different lengths and positions for cutoff wall and horizontal drainage (Case study: Sattarkhan Dam) // Advances in Civil Engineering, 2022, 1, 6441646. <https://doi.org/10.1155/2022/6441646>
5. **Rewtragulapaibul C., Jaritngam S., Wannawong T., Somchainuek O.** Comparison of Embankment Properties with Clay Core and Asphaltic Concrete Core // Applied Sciences, 2024, 14(15), 6555. <https://doi.org/10.3390/app14156555>
6. **Lu K., Li M.** Study on the Influence of Geo-Studio Water Level Elevation on High Embankment Slope Stability. In: Yuan B., Bilgin H., Luo Q., Han Z., Yang X. (eds) Structural Safety and Ground Improvement on Bridge. ICCASE

2024. Sustainable Civil Infrastructures. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76102-7_50

7. **Utegov Y., Lechowicz Z., Zhussupbekov A., Skutnik Z., Aldungarova A., Mkilima T.** The influence of material characteristics on dam stability under rapid drawdown conditions // Archives of Civil Engineering, 2022, 539-553. <https://doi.org/10.24425/ace.2022.140184>

8. **Balan I., Giurma-Handley C. R., Crenganiş L. M., Cordunean F., Balan I. E.** Slope stability analysis of a dam. Case study: Hălceni Reservoir, Iasi county, Romania // Present Environment and Sustainable Development, 2024, 17(2), 141-152. <https://doi.org/10.47743/pesd2023172011>

9. **Khanal M., Shi J., Qu Q.** Effect of Stepwise Increase in Tailings Deposition on Tailings Dam Stability // Minerals, 2025, 15(4), 346. <https://doi.org/10.3390/min15040346>

10. **Liu F., Yang K., Yang T., Ga, Y., Li J., Liu Q., Fu Q.** Pumped storage hydropower in an abandoned open-pit coal mine: Slope stability analysis under different water levels // Frontiers in Earth Science, 2022, 10, 941119. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.941119>

11. **Setiawan B., Chrismaningwang G., Purwana Y. M., Surjandari N. S., Dananjaya R. H., Fitri S. N.** Comparative analysis of infiltration wells efficacy using GeoStudio simulation and full-scale experimental test // Geomate Journal, 2024, 27(122), 63-70. <https://doi.org/10.21660/2024.122.4612>

12. **Krzyszowski Ś.** Evaluation of the usefulness of selected computer programs in the context of educating students of the environmental engineering // Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology, 2015, 20. (1-2), 31-37. <https://doi.org/10.1515/cdem-2015-0003>

13. **Yin Z. Y., Teng J. C., Wang H. L., Jin Y. F.** A MATLAB-based educational platform for analysis of slope stability // Computer Applications in Engineering Education, 2022, 30(2), 575-588. <https://doi.org/10.1002/cae.22474>

14. **Девін В., Ткачук В., Бурдєга В.** Використання некомерційного навчального програмного забезпечення для розрахунку стержневих конструкцій // Електронне наукове фахове видання "Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету", 2020, 8, 8-16. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2020.8.2>

15. **Lemos C. C. D. S., Dias L. O. F., Barbosa P. S. D. A., Marques E. A. G., Ferraz R. L., Nalon, G. H.** Digital tools used on the teaching-learning process in geotechnical engineering // Soils and

Rocks, 2024, 47(2), e2024004923. <https://doi.org/10.28927/SR.2024.004923>

16. **Величко С., Дупляк О., Ільків Р.** Моделювання фільтраційного тиску на основу водозливної греблі на ПК Seep/W у навчальному процесі // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2024, 48, 4-11. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.48.4-11>

17. **Копаниця Ю., Гіжа О., Нечипор О., Голобородько О., Гаврилюк А.** Онлайн моделювання розрахунку каналів гідравлічно найвигіднішого перерізу // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2025, 49, 4-16. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.4-16>

18. **Копаниця Ю., Гіжа О., Нечипор О., & Кормільцин, О.** Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню довільної несиметричної форми методом трьох команд k123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2024, 47, 12-22. <https://doi.org/10.32347/2524-021.2024.47.12-22>

19. **С.В. Величко, О.В. Дупляк** Гідротехнічні споруди. Ґрунтова гребля з баштовим водоскидом: Методичні вказівки до виконання курсового проєкту/роботи. Київ: КНУБА, 2024. 42 с. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/387-%D0%B5-2024-40_3_24.pdf

20. **Seepage** Modeling with SEEP/W / GEOSLOPE International Ltd – Calgary, Alberta, Canada T2P 2Y5, 2015, 197p. URL: <https://ottegroup.com/wp-content/uploads/2021/02/seep-modeling-June2015.pdf>

REFERENCES

1. **Perepichai, I., Yevzerov, I., & Kyrychok, V. (2023)** Filtratsiia u zadachakh heotekhnichnoho proek-tuvannia. *Budivli ta sporudy spetsialnoho pryznachennia: suchasni materialy ta kon-struksii: tezy dopovidei IV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, m. Kyiv, 26-27 kvitnia 2023/KNUBA, Kyiv, 2023, 33-34. Retrieved from: https://library.knuba.edu.ua/books/zbir-niki/31/IV_2023_26.04.23.pdf [In Ukrainian].
2. **He, L., Shi, L., & Liu, G. (2025)** Study on the Stability of Loess Landslides Based on Vegetation Characteristics and the Geo-Studio Model. *Polish Journal of Environmental Studies*, 34(4). 4143-4153. <https://doi.org/10.15244/pjoes/190012>
3. **Akhmed, T. M., & Amin, S. M. (2024)** Doslidzhen-nia heometrychnykh ta hidravlichnykh vplyviv na mitsnist na tertia ta zsuu u zemlianykh dambakh za dopomohoiu parametrychnoho analizu z pro-hramnym zabezpechenniam Geostudio. *Yevraziyskiy zhurnal nauky ta inzhenerii*, 10(1). 1-

11. <https://doi.org/10.23918/eajse.v10i1p1> [In Ukrainiane].
4. **Brontowiyono, W., Hammid, A. T., Jebur, Y. M., Al-Sudani, A. Q., Mutlak, D. A., & Parvan, M. (2022)** Reduction of seepage risks by investigation into different lengths and positions for cutoff wall and horizontal drainage (Case study: Sattarkhan Dam). *Advances in Civil Engineering*, 1. 6441646. <https://doi.org/10.1155/2022/6441646>
5. **Rewtragulapaibul, C., Jaritngam, S., Wannawong, T., & Somchainuek, O. (2024)** Comparison of Embankment Properties with Clay Core and Asphaltic Concrete Core. *Applied Sciences*, 14(15). 6555. <https://doi.org/10.3390/app14156555>
6. **Lv, K., & Li, M. (2024)** Study on the Influence of Geo-Studio Water Level Elevation on High Embankment Slope Stability. In: Yuan, B., Bilgin, H., Luo, Q., Han, Z., Yang, X. (eds) *Structural Safety and Ground Improvement on Bridge. ICCASE 2024. Sustainable Civil Infrastructures*. Springer, Cham. 459–470. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76102-7_50
7. **Uteпов, Y., Lechowicz, Z., Zhussupbekov, A., Skutnik, Z., Aldungarova, A., & Mkilima, T. (2022)** The influence of material characteristics on dam stability under rapid drawdown conditions. *Archives of Civil Engineering*, LXVIII (1). 539–553. <https://doi.org/10.24425/ace.2022.140184>
8. **Balan, I., Giurma-Handley, C. R., Crenganiş, L. M., Cordunean, F., & Balan, I. E. (2024)** Slope stability analysis of a dam. Case study: Hălceeni Reservoir, Iasi county, Romania. *Present Environment and Sustainable Development*, 17(2). 141–152. <https://doi.org/10.47743/pesd2023172011>
9. **Khanal, M., Shi, J., & Qu, Q. (2025)** Effect of Stepwise Increase in Tailings Deposition on Tailings Dam Stability. *Minerals*, 15(4). 346. <https://doi.org/10.3390/min15040346>
10. **Liu, F., Yang, K., Yang, T., Ga, Y., Li, J., Liu, Q., & Fu, Q. (2022)** Pumped storage hydropower in an abandoned open-pit coal mine: Slope stability analysis under different water levels. *Frontiers in Earth Science*, 10. 941119. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.941119>
11. **Setiawan, B., Chrismaningwang, G., Purwana, Y. M., Surjandari, N. S., Dananjaya, R. H., & Fitri, S. N. (2024)** Comparative analysis of infiltration wells efficacy using GeoStudio simulation and full-scale experimental test. *Geomate Journal*, 27(122). 63–70. <https://doi.org/10.21660/2024.122.4612>
12. **Krzeszowski, Ś. (2015)** Evaluation of the usefulness of selected computer programs in the context of educating students of the environmental engineering. *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology*, 20. (1-2). 31–37. <https://doi.org/10.1515/cdem-2015-0003>
13. **Yin, Z. Y., Teng, J. C., Wang, H. L., & Jin, Y. F. (2022)** A MATLAB-based educational platform for analysis of slope stability. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(2). 575–588. <https://doi.org/10.1002/cae.22474>
14. **Devin, V., Tkachuk, V., & Burdega, V. (2020).** Usage of non- commercial educational soft ware to calculate frame structures. *Open education al e-environment of modern university*, 8, 8–16. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2020.8.2>
15. **Lemos, C. C. D. S., Dias, L. O. F., Barbosa, P. S. D. A., Marques, E. A. G., Ferraz, R. L., & Nalon, G. H. (2024)** Digital tools used on the teaching-learning process in geotechnical engineering. *Soils and Rocks*, 47(2). e2024004923. <https://doi.org/10.28927/SR.2024.004923>
16. **Velychko, S., Dupliak, O., & Ilkiv, R. (2024).** Simulation of the seepage pressure under the dam by Seep/W during engineering education. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (48), 4–11. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.48.4-11>
17. **Kopanytsia, Y., Gizha, O., Nechypor, O., Holoborodko, O., & Gavryliuk, A. (2025).** Online modeling of calculation of channels of the most hydraulically advantageous cross-section. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (49), 4–16. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.4-16>
18. **Kopanytsia, Y., Gizha, O., Nechypor, O., & Kormilcin, O. (2024).** Determination of hydrostatic pressure on the plane surface of an arbitrary non-simmetrical form by the three-command method K123. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (47), 12–22. <https://doi.org/10.32347/2524-021.2024.47.12-22>
19. **Velychko, S. V., & Dupliak, O. V. (2024)** *Hidro-tekhichni sporudy. Hrunтова hreblia z bashto-vym vodoskydom: Metodychni vказivky do vykonannya kursovoho proiektu/roboty*. Kyiv: KNUBA. Retrieved from https://library.knuba.edu.ua/books/387-%D0%B5-2024-40_3_24.pdf [In Ukrainiane].
20. **Seepage Modeling with SEEP/W (2015).** GEOSLOPE International Ltd – Calgary, Alberta, Canada T2P 2Y5, 2015, 197p. Retrieved from: <https://ottegroup.com/wp-content/uploads/2021/02/seep-modeling-June2015.pdf>

Using GeoStudio in the educational process for modeling filtration in soil structures

Svitlana Velychko, Olena Dupliak

Abstract. Modern trends in the education development require a classroom hours reduction for lectures and practical classes. At the same time, high requirements are placed on the professional competencies of future specialists. Seepage calculation in the soil structures and determination of the seepage curve location is of great importance for the hydraulic structures. The use of special software allows to perform a larger number of essential calculations in a short time, visualization of the results allows students to consider various designs of earthfill structures and visually study the features of seepage processes in the body of an earthfill dam. The implementation of the information technologies in the educational process contributes to increasing the motivation and satisfaction of students from using software packages and increases their competitiveness in the labour market. To study seepage in a dam, either manual calculations or laboratory physical models are traditionally used to visualize the position of the seepage curve in the dam, but physical models allow to study only one structure of the dam. GeoStudio and its Seep/W component for seepage analysis are widely used in educational institutions for scientific research and engineering calculations. The article discussed an example of using the Seep/W for conducting laboratory work on seepage analysis in the earthfill dam of various designs. The students can study the influence of the seepage properties of the soil, water head, and drainage devices on the location of the seepage curve in the dam during laboratory works. The use of a modern software allows the students to familiarize themselves with the features of seepage analysis, which contributes to the development of their individual trajectory.

Key words: seepage calculation, Seep/W, seepage in a dam, steady seepage, software.

Стаття надійшла до редакції 01.10.2025