

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ТИСКУ НА ОСНОВУ ВОДОЗЛИВНОЇ ГРЕБЛІ НА ПК SEEP/W У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Світлана Величко¹, Олена Дупляк², Руслан Ільків³

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

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

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

³ilkiv_rr@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0003-1349-971X

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.48.4-11

Анотація. Сучасне освітнє середовище повинно забезпечити формування загальних та професійних (спеціальних) компетентностей майбутнього фахівця. Підготовка здобувача STEM спеціальностей в сучасних умовах не можлива без вивчення сучасних інформаційних технологій та спеціальних програмних комплексів для розрахунків. Компанії розробники та стейкхолдери зацікавлені в підготовці здобувачів з використанням сучасних розрахункових програм і надають різноманітні можливості для навчання. Навчальні плани поступово скорочують кількість аудиторних занять, використання спеціальних розрахункових програм дозволяє виконати більшу кількість необхідних розрахунків на короткий час, побачити результат, виправити допущені помилки, підібрати оптимальне конструктивне рішення отже сприяє розвитку критичного мислення та навичок самостійної роботи здобувача. Практика впровадження інформаційних технологій від простих до складних поширена як в Україні так і за кордоном, і скрізь відмічається більша мотивація і задоволення студентів від використання програмних комплексів та вирішення складних практичних завдань. В статті наведений приклад розрахунку фільтраційного та зважуючого тиску та методика розрахунку вручну та на ПК Seep/W підземного контуру водозливної греблі, проєкт якої здобувачі виконують на 4 курсі бакалаврату. Виконано порівняння результатів розрахунку вручну та на ПК Seep/W. Сучасні ПК є достатньо складними, вимагають додаткових знань та навичок роботи, спонукає здобувачів до вивчення додаткової інформації, що сприяє розвитку індивідуальної траєкторії здобувача. Більшість сучасних програмних комплексів є англomовними, що також стимулює вивчення професійної англomовної лексики.

Ключові слова: фільтраційний розрахунок, фільтраційний тиск, Seep/W, фільтрація під гідротехнічною спорудою, фільтраційний вихідний градієнт.

ВСТУП

Сучасне освітнє середовище повинно забезпечити досягнення кінцевого результату – формування загальних та професійних (спеціальних) компетенцій майбутнього фахівця. Підготовка здобувача до майбутньої професійної діяльності не можливе без використання сучасних інформаційних технологій та спеціальних програмних комплексів.

Сучасні програмні комплекси в гідротехнічному будівництві є достатньо складними

і вимагають спеціальної підготовки і додаткових знань, в той же час компанії розробники зацікавлені в майбутніх користувачах і пропонують студентські версії для ознайомлення, що сприяє активному впровадженню програмних комплексів в навчальний процес на інженерних та природничих спеціальностях [1,2].

Навчання на будівельних спеціальностях є достатньо складним, вимагає значних зусиль та часу на виконання курсових проєктів і як свідчать дослідження авторів [3-5] вико-

ристання спеціальних програмних комплексів мотивує студентів до навчання, дозволяє краще засвоювати теоретичний матеріал, вирішувати більш складні проєктні задачі та розвиває творчі здібності.

Сучасні темпи навчання призводять до поступового зменшення аудиторних занять, тому скорочення часу на розрахунки та можливість швидко побачити результат, дозволяє здобувачу підібрати оптимальне конструктивне рішення, своєчасно виправити допущені помилки, отже сприяє розвитку критичного мислення та навичок самостійної роботи [5,6].

У освітніх компонентах STEM спеціальностей, таких як інженерія, гідротехнічне будівництво, студенти повинні працювати зі складними моделями, які зображують системи реального світу, і моделювання дозволяє розширити можливості навчання від спрощених моделей для ручного розрахунку до реалістичних моделей, що збільшує інтерес та мотивацію здобувачів [7-9].

Сучасні програмні комплекси є достатньо складними і вимагають додаткової підготовки та методичного забезпечення [10]. Досвід впровадження моделювання та комп'ютерних розрахунків свідчить, що складність моделювання природного середовища та будівельних конструкцій можливо подолати поступовим введенням моделювання (спочатку 2D) та ускладненням розрахунків за рахунок ознайомлення здобувачів починаючи з першого курсу з спеціалізованими програмами Excel, AutoCAD, SolidWorks, Revit, EPANET, CAS MAXIMA [2-4, 11-13].

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 елементів комп'ютерних розрахунків у навчальному процесі дозволяє з одного боку виконати більшу кількість розрахунків і наочно подивитись на результати введення різноманітних граничних умов, з другого боку дозволяє познайомити здобувачів з особливостям роботи спеціальних

програмам під час практичної підготовки, що вимагає від викладача розроблення нових методичних підходів.

Мета досліджень

Дослідження сили фільтраційного тиску на основу водозливної греблі на прикладі ПК Seep/W для використання в сучасних інженерних розрахунках стійкості споруди під час навчального процесу.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Під час виконання курсового проєкту з розрахунку водозливної бетонної греблі здобувачі знайомляться з теоретичними основами та методикою розрахунку фільтрації під спорудою, виконують розрахунки. Результатом фільтраційного розрахунку є епюри фільтраційного та зважуючого тисків, які в подальшому використовуються в статичних розрахунках греблі, та градієнти напору на виході фільтраційного потоку в дренаж під водобоем.

Фільтраційний розрахунок виконується за методом коефіцієнтів опору Чугаєва Р.Р. для розрахунків флютбетів на нескельній основі [14]. В основу методу покладено припущення, що ґрунт основи чинить опір фільтраційному потоку, втрати напору поділяються на місцеві (уступи, шпунти) та по довжині (горизонтальні ділянки). При розрахунках підземний контур спрощується (рис.1). На рис. 1 спрощений контур позначений червоним кольором. Підземний контур поділяється на окремі елементи: вхід з уступом, горизонтальні ділянки, шпунти, вихід. Для кожного фрагмента контуру визначається коефіцієнт опору:

– вхід фільтраційного потоку з уступом (a) визначається за формулою:

$$\xi_{\text{вх}} = \frac{a}{T_1} + 0,44; \quad (1)$$

– горизонтальна ділянка:

$$\xi_{\text{гор}} = \frac{l_{\text{гор}} - 0,5(S_1 + S_2)}{T_2}; \quad (2)$$

– шпунт (S_1) з уступом (a_1):

$$\xi_{\text{шп}} = \frac{a_1}{T_1} + 1,5 \frac{S_1}{T_2} + \frac{0,5 \frac{S_1}{T_2}}{1 - 0,75 \frac{S_1}{T_2}}; \quad (3)$$

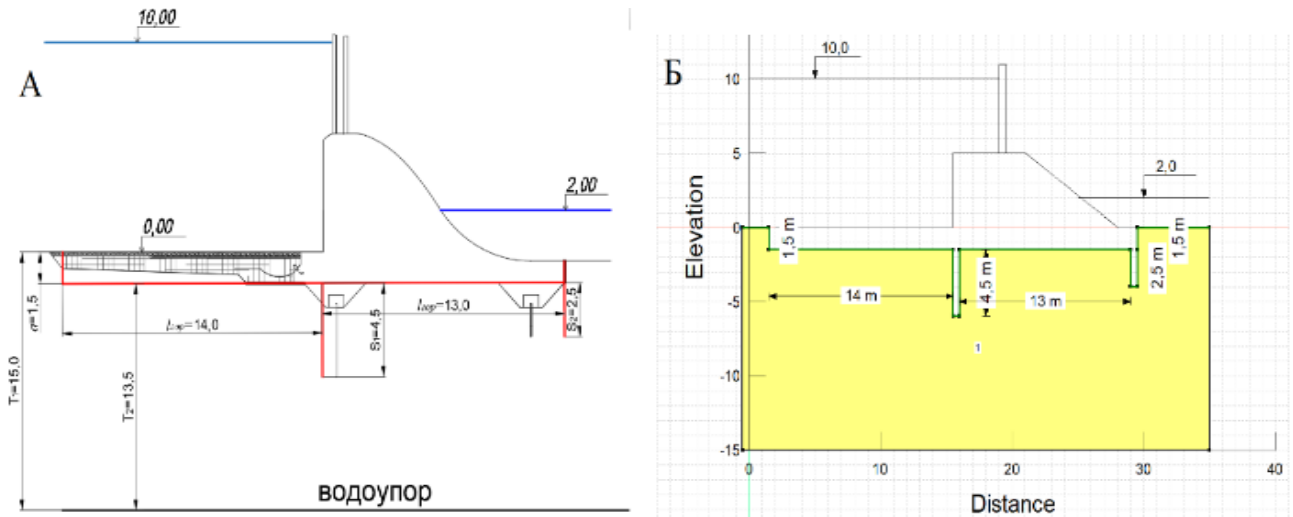


Рис. 1. Розрахункова схема: А – для розрахунку вручну; Б – на ПК Seep/W
Fig. 1. Calculation scheme: A – manual calculation; Б – calculation by Seep/W

де $\xi_{вх}$ – коефіцієнт втрат напору на вході чи виході; a – висота уступа, м; T_1 – відстань від низу горизонтальної ділянки до водоупору, м; $\xi_{гор}$ – коефіцієнт втрат напору на горизонтальній ділянці; $l_{гор}$ – довжина горизонтальної ділянки, м; S_1, S_2 – довжина шпунта, м; T_2 – відстань до водоупору на ділянці між шпунтами, м.

Втрати напору на кожній ділянці визначаються за формулою:

$$h_i = \xi_i \frac{z}{\sum \xi}, \quad (4)$$

де z – різниця рівнів води в верхньому та нижньому б'єфах, м; $\sum \xi$ – сума всіх коефіцієнтів опорів.

За визначеними значеннями втрат напору будується еюра фільтраційного тиску та еюра зважуючого тиску (рис. 2).

Розрахунок фільтрації в ґрунті на ПК Seep/W проводиться за основним диференціальним рівнянням усталеного фільтраційного потоку [16]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0, \quad (5)$$

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

Для вирішення диференціального рівняння руху усталеного фільтраційного потоку в Seep/W використаний метод скінчених елементів. Під основою гідротехнічної

споруди має місце фільтрація в насиченому стані. Всі пори ґрунту заповнені водою і об'ємний вологовміст дорівнює пористості ґрунту:

$$\Theta = nS, \quad (6)$$

де Θ – об'ємний вологовміст, $\text{м}^3/\text{м}^3$; n – пористість, $\text{м}^3/\text{м}^3$; S – коефіцієнт насичення, $S = 1$.

Послідовність розрахунку на ПК Seep/W [15]:

- створюємо геометричну модель точно в розмірах згідно розрахункової схеми (рис.1);
- задаємо матеріал основи повністю насичений водою, задаємо пористість $n = 0,31$ і коефіцієнта фільтрації $5 \cdot 10^{-5}$ м/с;
- задаємо граничні умови: напір води в верхньому та нижньому б'єфах;
- виконуємо розрахунок усталеної фільтрації;
- аналізуємо градієнти фільтрації на виході в нижній б'єф;
- будуємо еюру фільтраційного та зважуючого тисків (рис.2);
- за допомогою Excel аналізуємо еюри.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Фільтрація під гідротехнічними спорудами та визначення фільтраційного тиску на основу споруди є обов'язковими в навчальному процесі і здобувачі на практичних за

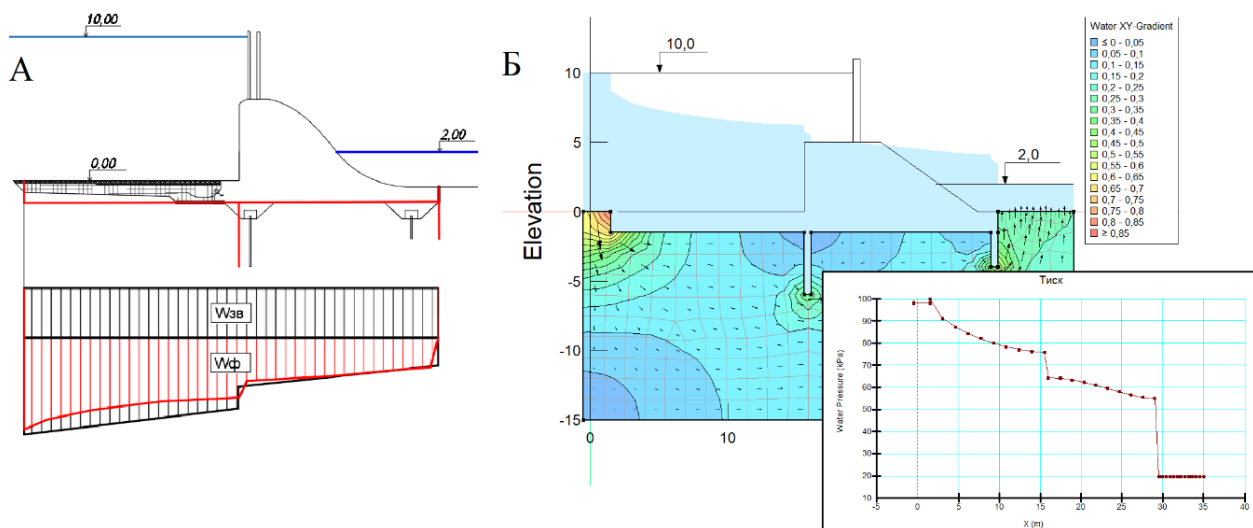


Рис. 2. Результати розрахунку, еюра фільтраційного та зважуючого тиску: А – ручний розрахунок; Б – розрахунок на Seep/W

Fig. 2. Calculation results, seepage and weighing pressure diagram: А – manual calculation; Б – calculation by Seep/W

няттях знайомляться з методикою розрахунку та виконують розрахунок вручну. Для практичних цілей розрахунки необхідно проводити на декілька розрахункових випадків, що при ручному розрахунку забирає багато часу. Еюри фільтраційного та зважуючого тиску вручну розраховуються окремо ($W_{зв}$, $W_{ф}$), на рис. 2, А зображені чорним кольором. В ПК Seep/W розрахунок тиску відображає сумарні величини фільтраційного та зважуючого тиску (графік на рис. 2, Б). Порівняння результатів розрахунку тиску наведено на рис. 2, А. Сумарні еюри практично співпадають, що дає можливість використовувати даний програмний комплекс в навчальному процесі для моделювання фільтрації під бетонною спорудою. Деяка відмінність результатів пов'язана з особливістю моделювання товщини шпунта в Seep/W. Необхідно намагатися зменшити ширину шпунту для наближення розрахунків до ручних.

Важливим показником ефективної конструкції підземного контуру є значення градієнту напору на виході потоку, допустиме значення для виходу в дренаж є $I_{доп} \leq 0,6$. При розрахунку вручну $I = 0,268$, значення градієнту напору при моделюванні на Seep/W $I = 0,29$.

Використання ПК Seep/W дозволяє моделювати гідротехнічні споруди без суттєвого

спрощення підземного контуру, що не збільшує працемісткість, але дозволяє виконати більш точні розрахунки (рис.3). Побудувавши геометричну модель та призначивши фільтраційні властивості ґрунтів можливо виконати декілька розрахунків, змінюючи відстань між шпунтами, довжину понура, довжину шпунтів. Отримані результати можна використати для прийняття більш виваженого конструктивного рішення підземного контуру греблі, що буде сприяти розвитку критичного мислення здобувачів та більш глибокого розуміння сутності фільтраційних розрахунків.

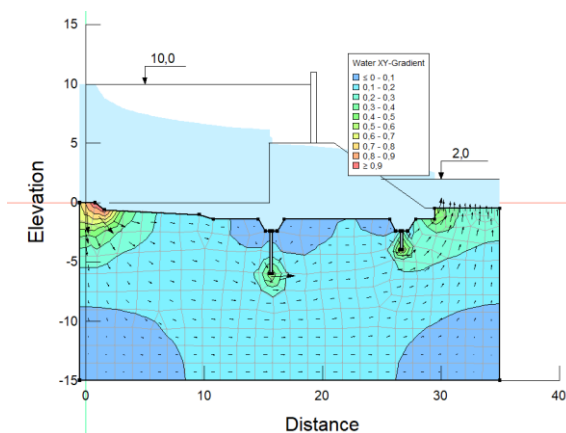


Рис. 3. Результати моделювання реалістичної споруди на Seep/W

Fig. 3. Simulation results of the realistic structure by Seep/W

Також ПК Seep/W використовується для наукових досліджень, як свідчать роботи [17] використання моделювання дозволяє вивчати вплив розташування шпунтів та їх нахилу, моделювання декількох шарів ґрунту [18] та декількох рядів шпунтів [19], визначати вплив на градієнти фільтрації конструктивних параметрів підземного контуру.

ПК Seep/W має багато можливостей та пропозицій навчання для здобувачів, що повинно спонукати цілеспрямовану молодь до поглиблення знань та навичок за допомогою інтернет ресурсів [20], що також буде сприяти самостійності та зростанню самооцінки.

ВИСНОВКИ

Основою надійного проектування гідротехнічних споруд є гідравлічні та статичні розрахунки і здобувачі знайомляться з розрахунком на практичних заняттях.

Використання в навчальному процесі розрахунків на інженерних програмних комплексах є однією зі складових навчального процесу, який дозволяє здобувачам проробити на практиці більшу кількість варіантів розрахунків та наочно ознайомитися з наслідками зміни входних параметрів моделі.

Сучасні ПК є достатньо складними, вимагають додаткових знань та навичок роботи, і використання їх в навчальному процесі для вирішення практичних завдань дозволяє здобувачу ознайомитися з особливостями роботи з ними і стати більш конкурентноздатним в сучасному інженерному середовищі.

Необхідність отримання додаткових знань щодо фільтраційних властивостей ґрунтів та гідрогеології, які можна використати на практиці, спонукає здобувачів до вивчення додаткової інформації, що сприяє розвитку індивідуальної траєкторії здобувача та інтеграцію в міжнародне наукове середовище, бо більшість ПК є іноземними.

Більшість сучасних програмних комплексів є англійськими, що також стимулює вдосконалення знань в суміжних освітніх компонентах, таких як іноземна мова, бо відео на Youtube та навчальні матеріали викладені іноземними мовами.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Дудик М.** Використання програмного пакету Ansys в навчальному процесі з теоретичної фізики // Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини, 2018, 1, 72-80. <https://doi.org/10.31499/2307-4906.1.2018.134831>
2. **Черних О. А., Соколенко В. М.** Досвід застосування сучасних інформаційних технологій у навчальному процесі в СНУ ім. В. Даля // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 2020, 13, 128-139. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3\(13\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3(13)-15)
3. **Баженов В. А., Шишов О. В.** Застосування програмних засобів при вивченні будівельної механіки // Опір матеріалів і теорія споруд, 2015, 96, 23-35. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/items/70b8a876-8e7b-4684-b399-6dc05eee2cac>
4. **Бойко В.** Технології комп'ютерного геометричного моделювання як засіб мотивації майбутніх інженерів-будівельників до проектної діяльності // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка, 2023, 1, 277-283. <https://doi.org/10.25128/2415-3605.23.1.35>
5. **Чепок Р. В.** Методика використання комп'ютерних технологій в процесі виконання розрахунково-графічних робіт одноступінчастих редукторів // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2023, 2, 140-148. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.15>
6. **Alhadlaq A.** Computer-based simulated Learning Activities: Exploring Saudi Students' Attitude and experience of using simulations to facilitate unsupervised learning of science concepts // Applied Sciences, 2023, 13(7), 4583. <https://doi.org/10.3390/app13074583>
7. **Dale P. D., Damayo A., Toring J. H., Rose A., Rosal D., Tinapay A.** Studying the Influence of Computer Simulation on Student Engagement: A Literature Review // International Journal of Multidisciplinary Research and Publications, 2023, 6 (2), 91-96. URL: <https://ijmrap.com/wp-content/uploads/2023/07/IJMrap-V6N1P192Y23.pdf>
8. **Pagan J.** STEM education using emulation software for hydraulic fluid power applications // Journal of Business and Management Sciences, 2018, 6(3), 86-92. <https://doi.org/10.12691/jbms-6-3-4>

9. **Qian Yufeng** Computer Simulation in Higher Education: Affordances, Opportunities, and Outcomes // Learning and Performance Assessment: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications, edited by Information Resources Management Association, IGI Global, 2020, 699-725. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0420-8.ch033>
10. **Pallares Muñoz M. R., Rodríguez Calderón W.** Designing educational software for analysing pressurised hydraulic systems in civil engineering // Ingeniería e Investigación, 2006, 26(3), 58–66. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v26n3.14752>
11. **Bermúdez M., Puertas J., Cea L.** Introducing Excel spreadsheet calculations and numerical simulations with professional software into an undergraduate hydraulic engineering course // Computer Applications in Engineering Education, 2020, 28(1), 193-206. <https://doi.org/10.1002/cae.22185>
12. **Pérez-Sánchez J., Senent-Aparicio J., Jimeno-Sáez P.** The application of spreadsheets for teaching hydrological modeling and climate change impacts on streamflow // Computer Applications in Engineering Education, 2022, 30(5), 1510-1525. <https://doi.org/10.1002/cae.22541>
13. **Копаниця Ю., Павлов Є., Гіжа О., Кострич Б., Матвієнко О.** Моделювання елементів розгалуженої мережі в cas тахіма та серверні онлайн розрахунки у навчальному процесі // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2023, 45, 24-31. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.45.24-31>
14. **Хлапук М. М., Шинкарук Л. А.** Гідротехнічні споруди. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013, 241с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/1758/1/735116%20zah.pdf>
15. **Величко С. В., Дупляк О. В.** Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Розрахунки гідротехнічних споруд з використання програмного комплексу GeoStudio. Київ: КНУБА, 2024, 44 с. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/37_3_24.pdf
16. **Seepage Modeling with SEEP/W / GEO-SLOPE International Ltd** – Calgary, Alberta, Canada T2P 2Y5, 2015, 197p. URL: <https://ottegroup.com/wp-content/uploads/2021/02/seep-modeling-June2015.pdf>
17. **Saleh L. A.** Studying the seepage phenomena under a concrete dam using SEEP/W and Artificial Neural Network models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 433, 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/433/1/012029>
18. **Jamel Asmaa Abdul Jabbar** Effect of two sheet piles in double soil layers on seepage properties under hydraulic structure using SEEP/W program. Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences, 2017, 20 (1), 194-205. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Two-Sheet-Piles-In-Double-Soil-Layers-on-Jamel/1ffdea0def271f0760202fda5ae10fb55acac86b>
19. **Hamad T. K., Suleimany J. M. S., Aurahman T. H.** Seepage Quantity Analysis Beneath Concrete Dams with Various Sheet Piles using Different Numerical Models // Tikrit Journal of Engineering Sciences, 2023, 30(2), 114-121. <https://doi.org/10.25130/tjes.30.2.12>
20. **GeoStudio Help & Support** [Електронний ресурс] – URL: <https://www.seequent.com/help-support/geostudio/> (дата звернення 30.07.2024). – Назва з екрана.

REFERENCES

1. **Dudyk, M. (2018).** Vykorystannia prohramnoho paketu Ansys v navchalnomu protsesi z teoretichnoi fizyky. Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Pavla Tychyny, 1. 72-80. <https://doi.org/10.31499/2307-4906.1.2018.134831>. [in Ukrainian].
2. **Chernykh, O. A., Sokolenko, V. M. (2020).** Dosvid zastosuvannia suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii u navchalnomu protsesi v snu im. V. Dalia. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi, 13. 128-139. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3\(13\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3(13)-15). [in Ukrainian].
3. **Bazhenov, V. A., Shyshov, O. V. (2015).** Zastosuvannia prohramnykh zasobiv pry vyvchenni budivelnoi mekhaniky. Opir materialiv i teoriia sporud, 96. 23-35. Retrieved from <https://repository.knuba.edu.ua/items/70b8a876-8e7b-4684-b399-6dc05eee2cac>. [in Ukrainian].
4. **Boiko, V. (2023).** Tekhnolohii kompiuternoho heometrychnoho modeliuvannia yak zasib motyvatsii maibutnykh inzheneriv-budivelnikiv do proiektnoi diialnosti. Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: pedahohika, 1. 277-283. <https://doi.org/10.25128/2415-3605.23.1.35>. [in Ukrainian].
5. **Чепок, Р. В. (2023).** Metodyka vykorystannia kompiuternykh tekhnolohii v protsesi vykonannia rozrakhunkovo-hrafichnykh robit odnostupinchastykh reduktoriv. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky, 2. 140-

148. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.15>. [in Ukrainian].
6. **Alhadlaq, A. (2023)**. Computer-based simulated Learning Activities: Exploring Saudi Students' Attitude and experience of using simulations to facilitate unsupervised learning of science concepts. *Applied Sciences*, 13(7). 4583. <https://doi.org/10.3390/app13074583>
7. **Dale, P., D., Damayo, A., Toring, J. H., Rose, A., Rosal, D., & Tinapay, A. (2023)** Studying the Influence of Computer Simulation on Student Engagement: A Literature Review. *International Journal of Multidisciplinary Research and Publications*, 6(2). 91-96. <https://ijmrmap.com/wp-content/uploads/2023/07/IJMRAP-V6N1P192Y23.pdf>
8. **Pagan, J. (2018)**. STEM education using emulation software for hydraulic fluid power applications. *Journal of Business and Management Sciences*, 6(3). 86-92. <https://doi.org/10.12691/jbms-6-3-4>.
9. **Qian, Y. (2020)**. Computer Simulation in Higher Education: Affordances, Opportunities, and Outcomes. *Learning and Performance Assessment: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, IGI Global, 699-725. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0420-8.ch033>
10. **Pallares Muñoz, M. R., & Rodríguez Calderón, W. (2006)** Designing educational software for analysing pressurised hydraulic systems in civil engineering. *Ingeniería e Investigación*, 26(3). 58–66. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v26n3.14752>
11. **Bermúdez, M., Puertas, J., & Cea, L. (2020)**. Introducing Excel spreadsheet calculations and numerical simulations with professional software into an undergraduate hydraulic engineering course. *Computer Applications in Engineering Education*, 28(1). 193-206. <https://doi.org/10.1002/cae.22185>
12. **Pérez-Sánchez, J., Senent-Aparicio, J., & Jimeno-Sáez, P. (2022)**. The application of spreadsheets for teaching hydrological modeling and climate change impacts on streamflow. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(5). 1510-1525. <https://doi.org/10.1002/cae.22541>
13. **Kopanytsia, Yu., Pavlov, Ye., Gizha, O., Kostrych, B., & Matviienko, O. (2023)** Modeliuvannia elementiv rozghaluzhenoi merezhi v cas maxima ta serverni onlain rozrakhunky u navchalnomu protsesi. *Problemy vodopostachання, vodovidvedennia ta hidravliki*, 45. 24-31. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.45.24-31>. [in Ukrainian].
14. **Khlapuk, M. M., & Shynkaruk, L. A. (2013)**. Hidrotekhnichni sporudy. Navchalnyi posibnyk. – Rivne: NUVHP. Retrieved from <https://ep3.nuwm.edu.ua/1758/1/735116%20zah.pdf>. [in Ukrainian].
15. **Velychko, S. V., & Dupliak, O. V. (2024)** Metodichni vkazivky do vykonannia laboratornykh robit. Rozrakhunky hidrotekhnichnykh sporud z vykorystannia prohramnoho kompleksu GeoStudio. Kyiv: KNUBA. Retrieved from https://library.knuba.edu.ua/books/37_3_24.pdf. [in Ukrainian].
16. **GEO-SLOPE International Ltd (2015)**. Seepage Modeling with SEEP/W. Calgary, Alberta, Canada T2P 2Y5. Retrieved from <https://ottegroup.com/wp-content/uploads/2021/02/seep-modeling-June2015.pdf>
17. **Saleh, L. A. (2018)**. Studying the seepage phenomena under a concrete dam using SEEP/W and Artificial Neural Network models. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 433. 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/433/1/012029>.
18. **Jamel, Asmaa Abdul Jabbar (2017)**. Effect of two sheet piles in double soil layers on seepage properties under hydraulic structure using SEEP/W program. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 20(1). 194-205. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Two-Sheet-Piles-In-Double-Soil-Layers-on-Jamel/1ffdea0def271f0760202fda5ae10fb55acac86b>
19. **Hamad, T. K., Suleimany, J. M. S., & Aurahman, T. H. (2023)**. Seepage Quantity Analysis Beneath Concrete Dams with Various Sheet Piles using Different Numerical Models. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 30(2), 114-121. <https://doi.org/10.25130/tjes.30.2.12>
20. **GeoStudio Help & Support** [Elektronnyi resurs] – <https://www.seequent.com/help-support/geostudio/> (data zvernennia 30.07.2024). – Nazva z ekrana.

Simulation of the seepage pressure under the dam by Seep/W during engineering education

Svitlana Velychko, Olena Dupliak, Ruslan Ilkiv

Abstract. The modern educational environment should ensure the formation of general and professional (special) competencies of the future specialist. The high education of STEM specialties is impossible without modern information technologies and special software in modern conditions. Developer companies and stakeholders are interested in training students using modern calculation software and provide various opportunities for training. Educational programs gradually reduce the amount of practice classes, the use of special calculation software allows to carry out more necessary calculations in short time, illustrate the results, correct the mistakes, choose the optimal constructive solution, therefore, it contributes to the development of critical thinking and independent learning skills of the student. The practice of implementing information technologies into the education process from simple to complex software is widespread both in Ukraine and abroad. Using modern software activates practical learning, boosts professional identity, consciousness, motivation, and creation of the students. The article provides the calculation of the seepage pressure under the dam by the ordinary handmade method and by Seep/W software. The fourth-year bachelor's degree students carry out this calculation during the concrete dam design. The comparison of the calculation results by hand and by Seep/W PC was made. Modern engineering software are quite complex, require additional knowledge and practice skills, encourage students to survey additional information, which contributes to the development of the students individual trajectory. Most of the modern software are in English, which also stimulates the study of professional English vocabulary.

Key words: seepage calculation, seepage pressure, Seep/W, seepage under hydraulic structures, seepage exit gradient.

Стаття надійшла до редакції 26.10.2024