

РОЗРАХУНОК КРИВОЇ ОБ'ЄМІВ ВОДОСХОВИЩА ЗАСОБАМИ ГІС

Світлана Величко¹, Олена Дупляк²

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

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.50.4-12

Анотація. Визначення корисного об'єму водосховища та висоти греблі є найбільш відповідальним етапом в проєктуванні гідротехнічного вузла, що здійснюється на основі кривої об'ємів водосховища. Традиційна методика побудови кривої об'ємів ґрунтується на використанні топографічної зйомки та обчислення площ водної поверхні за допомогою паперової карти і розрахунку об'єму водосховища за формулами геометрії. На передпроектних розробках при відсутності інструментальної зйомки складно отримати топографічні матеріали для розрахунку. Доступ до картографічних матеріалів в навчальному процесі практично неможливий. Сучасний розвиток ГІС технологій дозволяє використовувати цифрову модель місцевості вільного доступу для розрахунків топографічних параметрів водосховища. В статті наведений приклад розрахунку кривої об'ємів за допомогою двох програмних комплексів QGIS та HEC-RAS на основі цифрової моделі місцевості вільного доступу. Дані програмні комплекси використовуються у навчальному процесі магістрами освітньої програми «Гідротехнічні споруди, управління водними ресурсами та системами». Виконано порівняння результатів розрахунку вручну на основі інструментальної топографічної зйомки чаші водосховища та на QGIS та HEC-RAS. Використання сучасних програмних комплексів вимагають додаткових знань та навичок роботи, спонукає здобувачів до вивчення додаткової інформації та іноземних мов, що сприяє розвитку індивідуальної траєкторії здобувача. Ознайомлення з методикою розрахунку кривої об'ємів буде також корисним для бакалаврів при вивченні дисципліни «Інженерна гідрологія».

Ключові слова: крива об'ємів, водосховище, QGIS, HEC-RAS, цифрова модель місцевості, об'єм водосховища.

ВСТУП

Для ефективного вирішення задачі будівництва споруд регулювання стоку для цілей захисту від паводків (сухі гірські ємності, польдери) та водосховищ для потреб водопостачання, зрошення та гідроенергетики використовується залежність між відмітками та об'ємами в накопичувальній ємності. Крива об'ємів традиційно будується на основі інженерно-топографічних вишукувань або на основі карт [1] за допомогою планіметра по контуру поверхні води або палетки, або за допомогою AutoCAD враховуючи масштаб плану [2].

З розвитком ГІС технологій вільного доступу з'явилась можливість визначати морфометричні та топографічні параметри річкової системи та водойм на основі цифрової моделі рельєфу (ЦМР). Для території України можливо вільно завантажити ЦМР з роздільною здатністю 30м, для окремих водозборів можливо знайти ЦМР з роздільною здатністю 10м.

Для роботи з геоінформаційними технологіями використовують як комерційні ArcGis, так і платформи з вільним доступом, такі як QGIS, SAGA GIS, GRASS [3], Google Earth Engine [4]. Програмні комплекси з вільним кодом набувають все більшої попу-

лярності. В роботі [5] проведено дослідження використання QGIS в наукових дослідженнях: найпоширенішою ця програма є в Італії, США, Португалії, Бразилії, Франції, Німеччині, Швейцарії, Греції та Іспанії.

Для наукових досліджень ГІС з вільним кодом використовується для оцінки покриття лісом басейну, визначення рослинного покриву басейну та землекористування, як картографічна основа для ілюстрації досліджень. В роботі [6] QGIS використовувалась для морфометричних досліджень і досліджень ґрунтового покриву. ГІС технології використовуються для обробки супутникових знімків для оцінки динаміки площ поверхневих вод [7], для управління водними ресурсами в частині якості води, сезонних коливань рівнів води [8]. ГІС технології також використовуються для оцінки енергетичного потенціалу проектів малої гідроенергетики [9], для визначення зон затоплення [10].

QGIS широко застосовується для визначення морфометричних параметрів водозбірного басейну [11-13]. В роботі [14] описана можливість обробки супутникових знімків різних років для отримання характеристик гідрографічної мережі, для відстеження динаміки змін клімату на зникнення малих водотоків і поява нових антропогенно змінених водних об'єктів.

В роботі [15] проведено порівняльний аналіз інструментальної топографічної зйомки та використання ПК Google Earth Pro (комерційна версія) для аналізу супутникових знімків, щоб оцінити їх точність у визначенні об'єму малих водосховищ. За висновками авторів ГІС можливо використовувати для оцінки водної поверхні та об'єму для попереднього та екологічного дослідження в районах з низьким відкладенням осадів і без високої рослинності.

В роботі [16] об'єм водосховища визначений на основі розрахунку площі водосховища за супутниковими знімками, та існуючої кривої об'ємів. В роботі [17] розроблений метод GIS-SRTM за допомогою якого

була створена крива об'ємів з відносною похибкою менше 20%. В роботі [18] за допомогою QGIS та ЦМР з роздільною здатністю 25м було визначено площі вододілу та крива об'ємів для розрахунку корисного об'єму протиаводкової ємності та вибору економічно ефективного місця її розташування в Брісбені, Австралія на стадії ТЕО.

Актуальність теми

Побудова кривих об'ємів є основою, яка впливає на подальші розрахунки корисного об'єму водосховища та висоти греблі, параметри споруд регулювання паводків, в тому числі на їх кількість та розміщення, що в свою чергу вимагає інструментальної топографічної зйомки річкового басейну. Інструментальна топографічна зйомка має високу вартість і виконувати роботи на території басейну річки дуже дорого, тому використання на передпроектних розробках та на стадії вибору створів ЦМР вільного доступу буде мати значний економічний ефект.

Підготовка здобувача до майбутньої професійної діяльності для STEM спеціальностей вимагає використання топографічної зйомки як вихідні дані до курсового проєкту. Використання ЦМР вільного доступу дозволить познайомити здобувачів з особливостями роботи ГІС програмам та наблизить курсові проєкти до реальних умов. Використання ГІС технологій для практичного використання вимагає розробки методики побудови кривої об'ємів водосховища.

Мета досліджень

Дослідження можливості розрахунку кривої об'ємів водосховища за допомогою QGIS та HEC-RAS на основі ЦМР вільного доступу для використання в сучасних водогосподарських розрахунках та в навчальному процесі.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Розрахунок кривої об'ємів виконаний для створу сухої гірської ємності на верхній гірській частині річці Іршава. Річка Іршава належить до басейну р. Боржава. Водозбірна площа в створі протиаводкової ємності, розрахована за допомогою QGIS 3.34.9 та плагіну PC Raster на основі ЦМР

Copernicus 30x30m, складає 72,7км². Середній похил до створу греблі 29,3м/км (рис.1).



Рис. 1. Схема розташування водосховища на р. Іршава

Fig. 1. Reservoir location on the Irshava River

Розрахунок кривої об'ємів вручну виконаний на основі інструментальної топографічної зйомки масштабу 1:1000. Площа водної поверхні визначалась через кожний метр, починаючи з 273,00 відмітки, 272,00 відмітка була прийнята за нульову (рис. 2).



Рис. 2. Площа водної поверхні на відмітці 288,00, інструментальна топографічна основа М 1:1000

Fig. 2. The water surface area at the mark 288.00, instrumental tomographic base М 1:1000

Об'єм водосховища на відмітці Z_i був розрахований за формулою [19]:

$$W_i = \Delta h \frac{w_{i-1} + w_1}{2} + W_{i-1}, \quad (1)$$

де W_i – об'єм водосховища, що відповідає відмітці Z_i , м³; W_{i-1} – об'єм водосховища, що відповідає відмітці Z_{i-1} , м³; w_{i-1}, w_1 – площа водного дзеркала на відмітках Z_{i-1} та Z_i відповідно, м²; Δh – різниця між відмітками Z_{i-1} та Z_i , м.

Розрахунок кривої об'ємів за допомогою ГІС виконувався на ПК QGIS та HEC-RAS. Для розрахунків використана підготовлена в ПК QGIS ЦМР вільного доступу Copernicus 30x30m з проекцією в системі координат WGS 1984 UTM Zone 34N. Положення створу греблі прийнято відповідно осі греблі водосховища.

Алгоритм розрахунку об'єму за допомогою плагіну Raster surface volume та HEC-RAS полягає у визначенні об'єму нижче заданої відмітки поверхні за допомогою складання добутків площі пікселя на його висоту [20]:

$$W_i = \sum_{i=1}^n p_i \cdot h_i, \quad (2)$$

де W_i – об'єм водосховища, що відповідає відмітці Z_i , м³; p_i – площа і-го пікселя, м²; h_i – висота і-го пікселя, м; n – кількість пікселів на які поділене растрове зображення.

Послідовність розрахунку на ПК QGIS:

- виділяємо контури горизонталей на підготовленій ЦМР за допомогою плагіна Raster extraction – Contour, призначаючи крок горизонталей;
- за допомогою Raster surface volume підраховуємо об'єм нижче вказаної горизонталі, результат розрахунку зберігається в файлі *.html;
- повторюємо розрахунок об'єму для кожної потрібної горизонталі і засобами Excel будуємо криву об'ємів водосховища.

Розрахувати криву об'ємів водосховища можливо використовуючи ПК HEC-RAS:

- у вкладці RAS-Mapper завантажуюмо підготовлену ЦМР та Projection file;
- у властивостях шару рельєфу вмикаємо відображення горизонталей;

- створюємо геометрію водосховища Storage Area;
- звантажуємо створену в RAS-Mapper геометрію до HEC-RAS Geometry Data;

- у вкладці Edit Storage Area знаходимо криву об'ємів в графічній та табличній формі. Алгоритм розрахунку наведений на рис. 3.

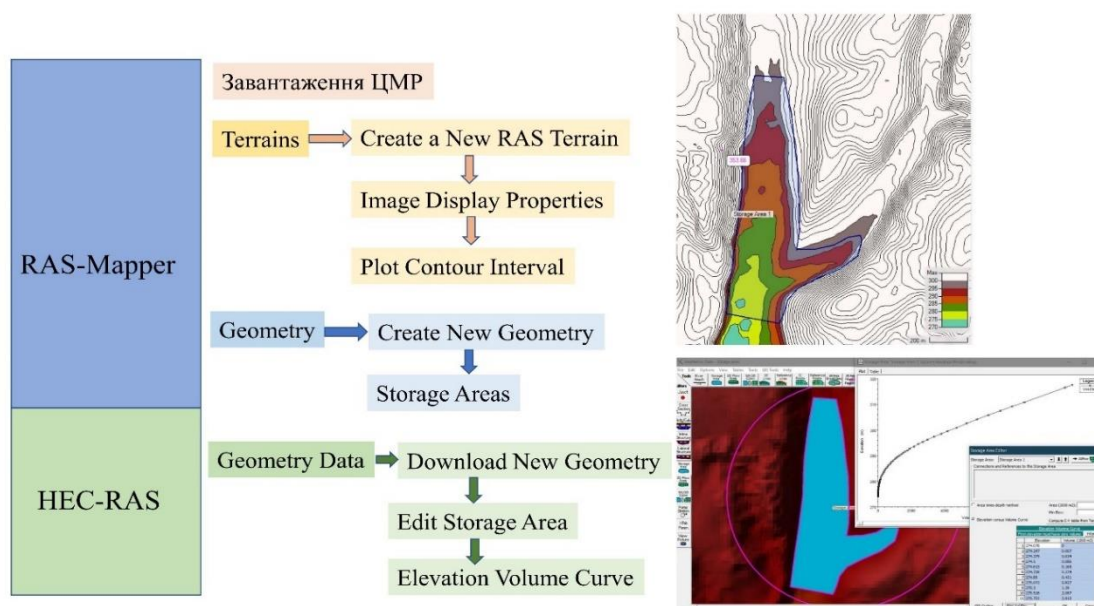


Рис. 3. Послідовність розрахунку кривої об'ємів на ПК HEC-RAS

Fig. 3. Elevation Volume Curve calculation sequence on HEC-RAS

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Розрахунок об'єму водосховища за допомогою інструментальної топографічної зйомки виконаний через 1,0м. Обведення горизонталей займає достатньо багато часу, особливо якщо площа водосховища велика. Але сам по собі розрахунок не є складним завдяки визначенню площі водного дзеркала засобами AutoCAD. Перевагою інструментальної топографічної зйомки є її точність і наявність зйомки дна річки. Результати розрахунків кривої об'ємів на основі інструментальної зйомки наведені на рис. 4. Мінімальна відмітка дна річки складає 272,00 м. На відмітці 290,00 м об'єм водосховища складає 2,12 млн.м³.

Розрахунок кривої об'ємів за допомогою ПК QGIS виконаний на основі ЦМР вільного доступу з роздільною здатністю 30м. Вільний доступ до ЦМР є значною перевагою, бо інструментальна зйомка вимагає додаткових витрат та часу, особливо якщо площа водосховища велика. Недоліком су-

путникових знімків є відсутність зйомки нижче рівня води в річці та включення до рельєфу рослинності, що підвищує відмітки чаші водосховища. Початкова розрахункова відмітка складає 274,00м. Розрахунок об'єму нижче водної поверхні необхідно виконувати окремо для кожної розрахункової горизонталі, виконаний для горизонталей через кожні 5,0м. Об'єм водосховища на відмітці 290,00 складає менше ніж при інструментальній зйомці – 1,38 млн.м³.

Розрахунок кривої об'ємів в ПК HEC-RAS відбувається автоматично всередині ємності накресленої в RAS-Mapper. Так як для розрахунку була використана та ж сама ЦМР, то мінімальна відмітка в чаші водосховища співпадає 274,00, розрахунок виконаний через 1,0 м. На відмітці 290,00 об'єм водосховища складає 1,29 млн.м³. Розбіжність з результатами розрахунку QGIS складає 6,5%, що імовірно пов'язано з різницею в розрахунковому кроці відміток (для QGIS використаний крок 5,0 м, для HEC-RAS – 1,0 м).

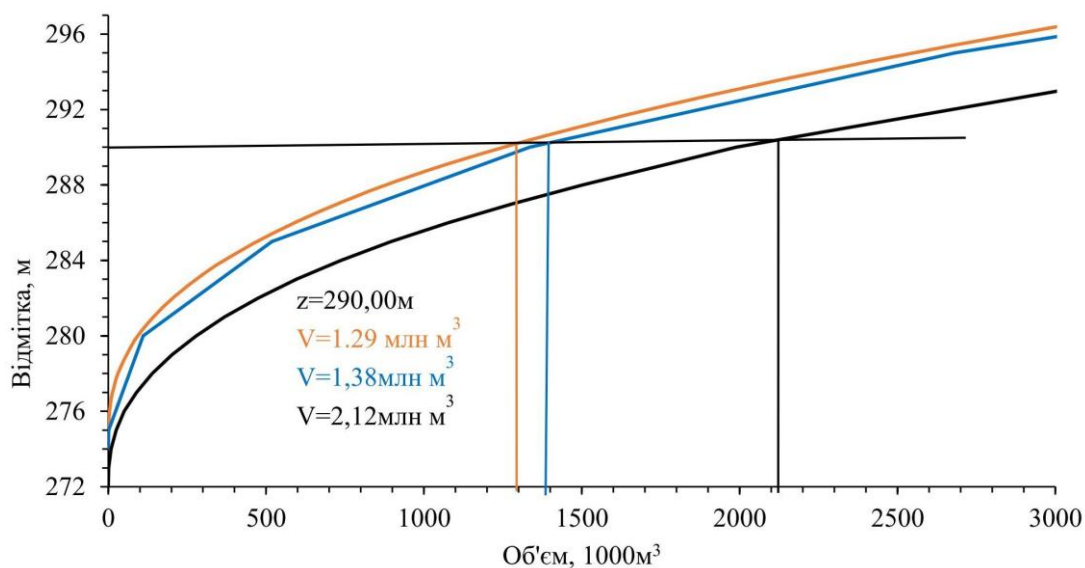


Рис.4. Крива об'ємів: чорний – ручний розрахунок; синій – розрахунок на QGIS; червоний – розрахунок на HEC-RAS

Fig.4. Elevation Volume Curve: black – manual calculation; blue – calculation by QGIS; red - calculation by HEC-RAS

Різниця між інструментальною зйомкою та ЦМР вільного доступу в початковій відмітці впливає на визначення об'єму за відмітками. Тому була побудована крива зміни об'єму водосховища від діючого напору (початкова відмітка дна була прийнята рівною 0). Залежність об'єму водосховища від напору води наведена на рис. 5. Порівняння

розрахункового об'єму для напору 20,0 м показує, що відмінність між QGIS та HEC-RAS складає 6%, тобто практично не змінна, що пов'язано з однаковою початковою відміткою. Відмінність від розрахунків на основі інструментальної зйомки в порівнянні з QGIS складає 9,0%, з HEC-RAS – 14,0%.

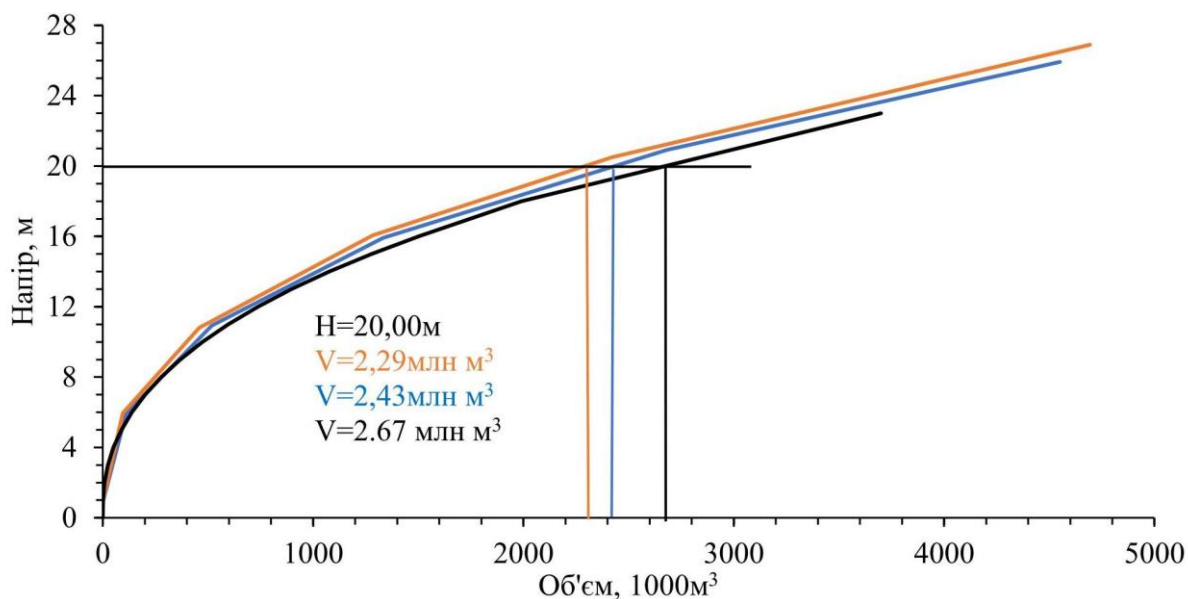


Рис. 5. Крива Напір - Об'єм: чорний – ручний розрахунок; синій – розрахунок на QGIS; червоний – розрахунок на HEC-RAS

Fig. 5. Water Head - Volume Curve: black – manual calculation; blue – calculation by QGIS; red - calculation by HEC-RAS

Різниця між об'ємами водосховища в першу чергу пов'язана з наявністю дерев в чаші водосховища (рис. 6). Відсоток заліснення чаші водосховища складає 43,3%. При збільшенні заліснення похибка може збільшитись.



Рис. 6. Чаша водосховища: синій – площа на відмітці 290,00; зелене – ліс
Fig. 6. Reservoir Area: blue – area at the level of 290.00; green – forest cover

ВИСНОВКИ

Визначення залежності між об'ємом водосховища та висотними відмітками є одним із важливих топографічних параметрів, від точності якого залежить точність водогосподарських розрахунків.

Використання ЦМР вільного доступу з великою роздільною здатністю має вплив на точність визначення кривих об'ємів, за рахунок включення в рельєф місцевості високої рослинності та відсутності батиметричної зйомки русла річки нижче рівня води. Розбіжність між положенням кривих об'ємів, розрахованими на основі ЦМР з роздільною здатністю 30х30м на ПК QGIS та HEC-RAS не значна до 6,5%. Порівняння кривих об'ємів побудованих на основі інструментальної топографічної зйомки дає похибку від 9% до 35%.

Побудова кривої об'ємів та розрахунки водопідпірних споруд на основі вільної ЦМР з роздільною здатністю 30м вимагає уточнення та корегування на стадії проєкт, але цілком може застосовуватись для вибору створу та передпроектних розробок та розрахунків.

Використання реальних вихідних даних в навчальному процесі та сучасних програмних комплексів дозволяє розвинути практичні навички розрахунків, і буде корисним для бакалаврів при вивченні дисципліни «Інженерна гідрологія», що сприяє розвитку індивідуальної траєкторії здобувача.

Допоміжні матеріали та відео роботи на ПК QGIS та HEC-RAS є англійськими, що буде сприяти збільшенню словникового запасу здобувачів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дупляк О. В., Бурлай В. А. Гідрологія та гідрометрія. Гідрологічні та водогосподарські розрахунки для водопостачання об'єкта. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт для студентів, які навчаються за напрямком 6.060101 «Будівництво». Київ: КНУБА, 2012. 24 с. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/15_3_12.rar
2. Москаленко С. О. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Гідрологія озер». ТОВ «ПРО ФОРМАТ», 2023, 40 с. URL: <https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2023/05/metodychni-vkazivky-do-vykonannya-praktychnyh-robit-z-dyscypliny-gidrologiya-ozer-s.o.-moskalenko.pdf>
3. Hruzdieva O. V., Kryachkov D. O., Smotraiev R. V. Simulation in the management of water resources // J. Chem Technol, 2023, 31(3), 530-551 <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i3.287777>
4. Condeça J., Nascimento J., Barreiras N. Monitoring the storage volume of water reservoirs using Google Earth Engine // Water Resources Research, 2022, 58(3), e2021WR030026. <https://doi.org/10.1029/2021WR030026>
5. Rosas-Chavoya M., Gallardo-Salazar J. L., López-Serrano P. M., Alcántara-Concepción P. C., León-Miranda A. K. QGIS a constantly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development // Cuadernos de Investigación Geográfica, 2022, 48(1), 197-213. <https://doi.org/10.18172/cig.5143>
6. Silva J. R. I., de Assunção Montenegro A. A., de Andrade Farias C. W. L., Jardim A. M. D. R. F., da Silva T. G. F., Montenegro S. M. G. L. Morphometric characterization and land use of the Pajeú river basin in the Brazilian semi-arid region // Journal of South American Earth Sciences, 2022, 118, 103939. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103939>

7. Дребот О., Зубова О., Хант Г., Лук'яненко О. П., Черняк Я., Савчук О. Використання даних дистанційного зондування землі для оцінки динаміки площ поверхневих вод на прикладі Ізяславського району Хмельницької області // Геодезія, картографія і аерофотознімання, 2020, Вип. 91, с 51-58. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.91.051>
8. Mukhtorov U., Kakhorov B., Khafizova Z., Murodova D., Egamberdiev R. Study of monitoring of water bodies using remote sensing data and GIS technologies (Talimarjan water reservoir) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2024, 1420(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1420/1/012007>
9. Fokin A. Метод дистанційного зондування потенціалу ландшафту для побудови об'єктів малої гідроенергетики на основі геопросторових даних // Computer-integrated technologies: education, science, production, 2024, (57), 146-153. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-57-17>
10. El-Bagoury H., Gad A. Integrated hydrological modeling for watershed analysis, flood prediction, and mitigation using meteorological and morphometric data, scs-cn, hec-hms/ras, and qgis // Water, 2024, 16(2), 356. <https://doi.org/10.3390/w16020356>
11. Ali M. H., Mohammed F. G., Al-Saady Y. I. Water reservoir techniques using remote sensing and GIS: a literature survey // In Journal of Physics: Conference Series, 2024, Vol. 2857, 1, 012022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2857/1/012022>
12. Дупляк В., Величко, С. Використання програмного комплексу qgis для визначення гідрологічних характеристик. досвід використання в навчальному процесі // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки, 2024 (47), 4-11. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.47.4-11>
13. Vujović F., Čulafić G., Valjarević A., Brđanin E., Durlević U. Comparative geomorphometric analysis of drainage basin using AW3D30 model in ArcGIS and QGIS environment: Case Study of the Ibar River Drainage Basin // Montenegro. Agriculture & Forestry, 2024, 70(1), 217-230. <https://doi.org/10.17707/agricultforest.70.1.15>
14. Selehieiev A., Ovcharuk V., Hryb O. Study of the influence of the scale of topographic maps on the values of hydrological characteristics of the river network using GIS technologies // Geodesy, cartography and aerial photography, 2023, 97(97), 32-45. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.97.032>
15. Pacheco J. C. C., Junior W. D. A. O., de Alencar C. A. B. Comparative analysis for volume estimation in small dams using conventional bathymetry and remote sensing // Geofronter, 2024, 10, e8858-e8858. <https://doi.org/10.61389/geofronter.v10.8858>
16. Pimenta J., Fernandes J. N., Azevedo A. Remote Sensing Tool for Reservoir Volume Estimation // Remote Sensing, 2025, 17(4), 619. <https://doi.org/10.3390/rs17040619>
17. Sayl K. N., Muhammad N. S., El-Shafie A. Optimization of area–volume–elevation curve using GIS–SRTM method for rainwater harvesting in arid areas // Environ Earth Sci, 2017, 76, 368. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6699-1>
18. Zytoon, A., Gharineiat, Z., & Alajarmeh, O. Supplementary Dam Site Selection Using a Geospatial Approach: A Case Study of Wivenhoe Dam // ISPRS International Journal of Geo-Information, 2024, 13(6), 180. <https://doi.org/10.3390/ijgi13060180>
19. Холоденко В. С. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Інженерна гідрологія та регулювання стоку» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» денної та заочної форми навчання. Рівне : НУВГП, 2020. – 86 с.
20. How to Calculate Raster Surface Volume in QGIS [Електронний ресурс] URL: <https://www.geodose.com/2020/07/how-to-calculate-raster-surface-volume-qgis.html> дата звернення 14.04.2025). – Назва з екрана.

REFERENCES

1. Dupliak, O.V., & Burlai, V.A. (2012). Hidrolohiiia ta hidrometriiia. Hidrolohichni ta vodohospodarski rozrakhunki dlia vodopostachannia ob'iektu. Metodychni vkazivky do vykonannia rozrakhunkovo-hrafichnykh robot dlia studentiv, yaki navchaiutsia za napriamkom 6.060101 «Budivnytstvo». Kyiv: KNUCA. Retrieved from https://library.knuba.edu.ua/books/15_3_12.rar [in Ukrainian].
2. Moskalenko, S. O. (2023). Metodychni vkazivky do vykonannia praktychnykh robot z dystsypliny «Hidrolohiiia ozer». TOV «PRO FORMAT», 40. Retrieved from <https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2023/05/metodychni-vkazivky-do-vykonannya-praktychnykh-robot-z-dystsypliny-gidrologiia-ozer-s.o.-moskalenko.pdf> [in Ukrainian].

3. Hruzdieva, O. V., Kryachkov, D. O., & Smotraiev, R. V. (2023). Simulation in the management of water resources. *J Chem Technol*, 31(3), 530-551 <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i3.287777>
4. Condeça, J., Nascimento, J., & Barreiras, N. (2022). Monitoring the storage volume of water reservoirs using Google Earth Engine. *Water Resources Research*, 58(3), e2021WR030026. <https://doi.org/10.1029/2021WR030026>
5. Rosas-Chavoya, M., Gallardo-Salazar, J. L., López-Serrano, P. M., Alcántara-Concepción, P. C., & León-Miranda, A. K. (2022). QGIS a constantly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48(1), 197-213. <https://doi.org/10.18172/cig.5143>
6. Silva, J. R. I., de Assunção Montenegro, A. A., de Andrade Farias, C. W. L., Jardim, A. M. D. R. F., da Silva, T. G. F., & Montenegro, S. M. G. L. (2022). Morphometric characterization and land use of the Pajeú river basin in the Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, 118, 103939. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103939>
7. Drebot, O., Zubova, O., Khant, H., Lukianenko, O. P., Cherniak, Ya., & Savchuk, O. (2020). Vykorystannia danykh dystantsiinoho zonduvannia zemli dlia otsinky dynamiky ploshch poverkhnevyykh vod na przykladi Iziaslavskoho raionu Khmelnytskoi oblasti. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, 91, 51-58. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.91.051> [in Ukrainian].
8. Mukhtorov, U., Kakhorov, B., Khafizova, Z., Murodova, D., & Egamberdiev, R. (2024). Study of monitoring of water bodies using remote sensing data and GIS technologies (Talimarjan water reservoir). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1420(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1420/1/012007>
9. Fokin, A. (2024). Metod dystantsiinoho zonduvannia potentsialu landshaftu dlia pobudovy obektiv maloi hidroenerhetyky na osnovi heoprostorovykh danykh. *Computer-integrated technologies: education, science, production*, 57, 146-153. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-57-17> [in Ukrainian].
10. El-Bagoury, H., & Gad, A. (2024). Integrated hydrological modeling for watershed analysis, flood prediction, and mitigation using meteorological and morphometric data, scs-cn, hec-hms/ras, and qgis. *Water*, 16(2), 356. <https://doi.org/10.3390/w16020356>
11. Ali, M. H., Mohammed, F. G., & Al-Saady, Y. I. (2024). Water reservoir techniques using remote sensing and GIS: a literature survey. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2857(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2857/1/012022>
12. Velychko, S., & Dupliak, O. (2024). The use of the QGIS tools to determine hydrological characteristics. The experience in higher education. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (47), 4–11. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.47.4-11>
13. Vujović, F., Čulafić, G., Valjarević, A., Brđanin, E., & Durlević, U. (2024). Comparative geomorphometric analysis of drainage basin using AW3D30 model in ArcGIS and QGIS environment: Case Study of the Ibar River Drainage Basin, Montenegro. *Agriculture & Forestry*, 70(1), 217-230. <https://doi.org/10.17707/agricultforest.70.1.15>
14. Selehieiev, A., Ovcharuk, V., & Hryb, O. (2023). Study of the influence of the scale of topographic maps on the values of hydrological characteristics of the river network using GIS technologies. *Geodesy, cartography and aerial photography*, 97(97), 32-45. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.97.032>
15. Pacheco, J. C. C., Junior, W. D. A. O., & de Alencar, C. A. B. (2024). Comparative analysis for volume estimation in small dams using conventional bathymetry and remote sensing. *Geofronter*, 10, e8858-e8858. <https://doi.org/10.61389/geofronter.v10.8858>
16. Pimenta, J., Fernandes, J. N., & Azevedo, A. (2025). Remote Sensing Tool for Reservoir Volume Estimation. *Remote Sensing*, 17(4), 619. <https://doi.org/10.3390/rs17040619>
17. Sayl, K.N., Muhammad, N.S. & El-Shafie, A. (2017). Optimization of area–volume–elevation curve using GIS–SRTM method for rainwater harvesting in arid areas. *Environ Earth Sci*, 76, 368. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6699-1>
18. Zytoon, A., Gharineiat, Z., & Alajarmeh, O. (2024). Supplementary Dam Site Selection Using a Geospatial Approach: A Case Study of Wivenhoe Dam. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(6), 180. <https://doi.org/10.3390/ijgi13060180>
19. Kholodenko V. S. (2020) Metodychni vkazivky do vykonannia praktychnykh robit z navchalnoi dystsypliny «Inzhenerna hidrolohiia ta rehuliuвання stoku» dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity pershoho (bakalavrskoho) rivnia za osvithno-profesiinoiu prohramoiu «Hidrotekhnichne budivnytstvo, vodna inzheneriia ta vodni tekhnologii» spetsialnosti 194 «Hidrotekhnichne budivnyt-

tstvo, vodna inzheneriia ta vodni tekhnolohii» den-
noi ta zaochnoi formy navchannia. Rivne: NUVHP.
[in Ukrainian].

20. **Geodose (2020).** How to Calculate Raster Sur-
face Volume in QGIS [Elektronnyi resurs]. Re-
trieved from [https://www.geo-
dose.com/2020/07/how-to-calculate-raster-surface-
volume-qgis.html](https://www.geodose.com/2020/07/how-to-calculate-raster-surface-volume-qgis.html)

Calculation of an Elevation Volume Curve of the water reservoir using GIS

Svitlana Velychko, Olena Dupliak

Abstract. The useful reservoir storage volume calculation and the dam height is the most crucial stage in the hydraulic engineering design, which is carried out based on the Elevation Volume Curve. The traditional method of plotting the Elevation Volume Curve is based on the use of topographic survey, calculating water surface areas and volume of the reservoir by geometry formula. It is difficult to obtain topographic materials for calculations without instrumental survey during pre-design work. The access to instrumental survey is practically impossible during the educational process. The modern development of GIS allows to use a free digital terrain model for calculating the topographic parameters of a reservoir. The Elevation Volume Curves calculation using two software, QGIS and HEC-RAS, based on a free digital terrain model are discussed in the article. These softwares are used in the educational process by masters of the educational program "Hydraulic structures, management of water resources and systems". The comparison of the Elevation Volume Curves obtained by manual calculations based on instrumental topographic survey and by QGIS and HEC-RAS based on a free DEM is performed. The use of modern softwares require additional knowledge and work skills, encourage students to study new information and foreign languages, which contributes to the development of the individual trajectory of the student. Familiarization with the methodology for calculating Elevation Volume Curve will also be useful for bachelors in the discipline "Engineering Hydrology".

Key words: Elevation Volume Curve, reservoir, QGIS, HEC-RAS, DEM, reservoir storage volume

Стаття надійшла до редакції 11.06.2025