

УДК 528.4

COMPLEX OF GEODETIC WORKS FOR THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MINI HYDROPOWER PLANTS

КОМПЛЕКС ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ МІНІ-ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Romaniuk V.V. / Романюк В.В.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4429-1930

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano-Frankivsk, Karpatian, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 76019*

Анотація. У статті розглянуто актуальні питання геодезичного забезпечення будівництва міні-гідроелектростанцій (міні-ГЕС) в Україні. В умовах енергетичної трансформації та необхідності сталого розвитку, геодезичні роботи відіграють ключову роль на всіх етапах проєктування і реалізації міні-ГЕС. Наведено детальний опис етапів геодезичного супроводу — від попереднього обстеження території, створення цифрової моделі рельєфу, до виконавчої зйомки та моніторингу. Особливу увагу приділено застосуванню сучасних технологій, зокрема GNSS, 3D-сканування, БПЛА, цифрового моделювання. Представлено блок-схему комплексу геодезичних робіт, що структурує процеси технічного супроводу будівництва. Запропонований підхід дозволяє забезпечити точність, безпеку та нормативну відповідність при впровадженні міні-ГЕС в Україні.

Ключові слова: геодезичне забезпечення, міні-ГЕС, цифрова модель рельєфу, GNSS, 3D-сканування, виконавча зйомка, супровід будівництва.

Abstract. The article addresses current issues related to geodetic support in the construction of mini hydropower plants (mini-HPPs) in Ukraine. In the context of energy transformation and the need for sustainable development, geodetic works play a key role at all stages of the design and implementation of mini-HPPs. A detailed description is provided of each phase of geodetic support — from preliminary site surveys and digital terrain modeling to as-built surveys and structural monitoring. Particular attention is given to the application of modern technologies, including GNSS, 3D scanning, UAVs, and digital modeling. A block diagram illustrating the full scope of geodetic works is presented, structuring the technical support process for construction. The proposed approach ensures accuracy, safety, and compliance with regulatory standards in the implementation of mini-HPP projects in Ukraine.

Key words: geodetic support, mini-HPP, digital terrain model, GNSS, 3D scanning, as-built survey, construction monitoring.

Вступ.

Сучасні енергетичні виклики України, зумовлені потребою у децентралізованому і надійному електропостачанні, активізували інтерес до розвитку малої гідроенергетики. Міні-гідроелектростанції, зокрема в Карпатському регіоні, мають значний потенціал як екологічно чисте джерело енергії. Проте ефективне їх впровадження вимагає комплексного технічного

супроводу, зокрема високоточного геодезичного забезпечення. Геодезичні роботи є базовим елементом усіх стадій реалізації таких проєктів: від вибору ділянки і розробки проєктної документації до контролю за будівництвом і технічного моніторингу. У зв'язку з цим особливу увагу необхідно приділити впровадженню новітніх геодезичних методів, зокрема GNSS-технологій, наземного лазерного сканування, дистанційного зондування та цифрового моделювання місцевості. Саме ці інструменти дозволяють досягнути необхідного рівня точності, оперативності та відповідності нормативним вимогам у процесі створення інженерних об'єктів критичної інфраструктури, до яких належать і міні-ГЕС.

Постановка проблеми

Розвиток міні-гідроелектростанцій (міні-ГЕС) в Україні є актуальним напрямом у забезпеченні енергетичної незалежності та сталого розвитку країни. Значний гідроенергетичний потенціал малих річок, особливо в Карпатському регіоні, створює передумови для ефективного використання відновлюваних джерел енергії. Згідно з аналітичним оглядом, технічний потенціал малої гідроенергетики України становить близько 2000 МВт, з яких лише незначна частина наразі використовується [1].

Переваги міні-ГЕС включають екологічну чистоту, низький рівень викидів парникових газів, можливість децентралізованого енергопостачання віддалених районів та економічну ефективність завдяки відносно низьким витратам на будівництво і експлуатацію [2, 4]. Крім того, міні-ГЕС можуть забезпечувати стабільне електропостачання, що є важливим фактором у контексті енергетичної безпеки.

Однак, розвиток міні-ГЕС супроводжується низкою викликів. Серед них – екологічні ризики, пов'язані з можливим впливом на водні екосистеми та біорізноманіття, а також соціальні аспекти, зокрема, спротив місцевих громад через побоювання щодо змін у природному середовищі [3]. Також існують юридичні та адміністративні бар'єри, що ускладнюють процес отримання дозволів та реалізації проєктів у сфері малої гідроенергетики.

Міжнародний досвід свідчить про ефективність використання міні-ГЕС у забезпеченні енергетичних потреб. Наприклад, у Китаї діє понад 80 000 міні-ГЕС, які забезпечують значну частину енергопостачання країни. Цей приклад демонструє потенціал малої гідроенергетики у вирішенні енергетичних викликів.

Таким чином, розвиток міні-ГЕС в Україні є перспективним напрямом, що сприяє енергетичній незалежності та екологічній безпеці. Проте для успішної реалізації проектів необхідно враховувати екологічні, соціальні та юридичні аспекти, забезпечуючи баланс між енергетичними потребами та збереженням довкілля.

Міжнародний досвід створення міні-ГЕС

Міжнародна практика впровадження міні-гідроелектростанцій свідчить про ефективність цього джерела енергії у забезпеченні стабільного, екологічного та децентралізованого електропостачання. У різних країнах світу розроблено власні моделі реалізації проектів малої гідроенергетики, які враховують природні умови, соціально-економічні фактори та політичні пріоритети.

Китай є світовим лідером за кількістю діючих міні-ГЕС — понад 80 000 установок, які забезпечують до 17% енергопостачання в сільській місцевості. Значна увага приділяється розвитку цієї галузі в автономних регіонах, таких як Тибет, де міні-ГЕС стали ключовим інструментом енергозабезпечення важкодоступних територій [5].

У Норвегії функціонує понад 1800 міні-ГЕС, що інтегровані в загальнодержавну енергетичну систему. В основі політики підтримки лежить принцип зеленої сертифікації, який стимулює інвесторів до розвитку малих станцій із дотриманням екологічних вимог [6].

В Індії міні-ГЕС розглядаються як інструмент електрифікації гірських і сільських районів. Держава забезпечує фінансову підтримку проектів через пільгові кредити, гранти та технічне супроводження. Загальна встановлена потужність малих ГЕС в Індії перевищила 4500 МВт станом на 2023 рік.

Швейцарія демонструє ефективну модель громадської участі: більшість міні-ГЕС належать комунальним кооперативам. Впровадження таких станцій здійснюється із суворим дотриманням екологічних стандартів, зокрема щодо збереження водного біорізноманіття та встановлення рибопропускних споруд

У Бразилії малі ГЕС, відомі як "Pequenas Centrais Hidrelétricas" (PCH), активно будуються в регіонах з нерозвиненою мережею. Підтримка реалізується через довгострокові контракти на купівлю електроенергії за пільговими тарифами.

Цей досвід свідчить про те, що успішне впровадження міні-ГЕС потребує узгодження економічної доцільності з екологічною безпекою, державної підтримки та участі громад.

Виклад основного матеріалу дослідження

Комплекс геодезичних робіт при будівництві міні-ГЕС

Будівництво міні-гідроелектростанцій (міні-ГЕС) вимагає високоточного інженерного супроводу, де ключову роль відіграють геодезичні роботи. Комплекс геодезичних заходів охоплює повний цикл – від підготовчих досліджень до виконавчої зйомки, забезпечуючи точність розміщення споруд, контроль їх будівництва та документальне підтвердження виконаних робіт.

На рисунку 1 нижче представлено блок-схему, що візуалізує основні етапи комплексу геодезичних робіт при будівництві міні-ГЕС.

Схема структуровано відображає послідовність процесів — від підготовчих заходів до виконавчої зйомки, включаючи інженерно-геодезичне обстеження, створення геодезичної основи, супровід будівництва та моніторинг.

На підготовчому етапі виконується камеральна підготовка: збір і аналіз наявних картографічних матеріалів, ортофотопланів, гідрологічних та інженерно-геологічних даних. Особлива увага приділяється вивченню гідрографічної мережі, рельєфу, існуючої інфраструктури. Паралельно здійснюється складання програми польових робіт.

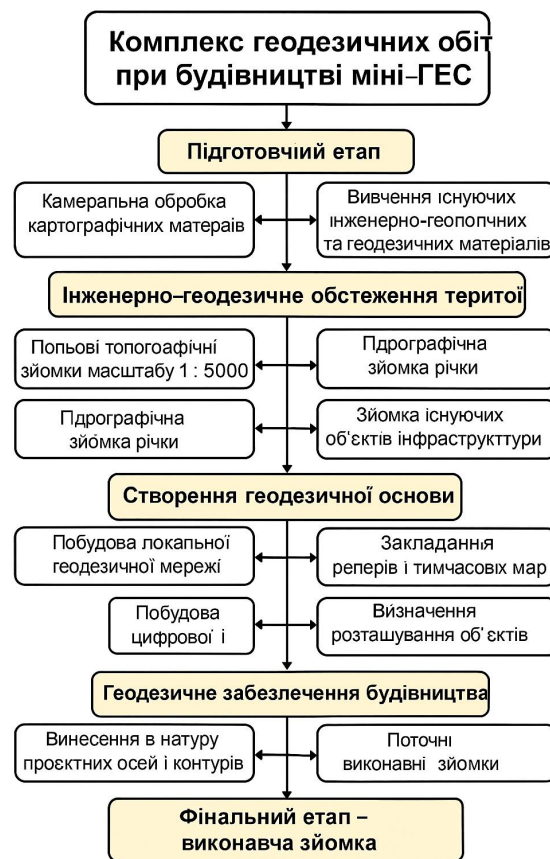


Рисунок 1 - Блок-схема комплексу геодезичних робіт при будівництві

Наступним етапом є інженерно-геодезичне обстеження території. Проводиться комплексна топографічна зйомка в масштабах 1:500–1:2000 з використанням GNSS-обладнання, електронних тахеометрів, у ряді випадків — мобільного лазерного сканування. Важливим компонентом є гідрографічна зйомка: визначення морфометричних характеристик річки (глибина, ширина, профіль дна), вимірювання витрат води та оцінка падіння рельєфу. Також здійснюється обстеження прибережної зони та зйомка існуючих об'єктів для побудови цифрової моделі місцевості.

Створення геодезичної основи передбачає закладання система постійних реперів та тимчасових марок, створюється локальна геодезична мережа. Вона використовується для закріплення просторового положення проєктних споруд. Геодезична мережа виконується у відповідності до діючих нормативних документів з дотриманням вимог щодо точності.

На основі зібраних даних створюється цифрова модель рельєфу (ЦМР) для проєктних розрахунків. Геодезисти надають інженерам-виробничникам точні

координати об'єктів проектування. Розраховується геометрія каналів, котлованів, гребель, машинного залу тощо. Проводиться аналіз придатності рельєфу до будівництва та вибір оптимальних відміток споруд.

Геодезичний супровід будівництва включає винесення в натуру проектних осей та контурів будівельних елементів. Здійснюється оперативний контроль за точністю виконання монтажу та земляних робіт. Геодезичне супроводження дозволяє відслідковувати відхилення від проекту в режимі реального часу. На етапах зведення греблі та монтажу турбін застосовується високоточне обладнання для контролю геометрії конструкцій.

Моніторинг та деформаційні спостереження це забезпечення безпеки експлуатації споруд впроваджується система моніторингу: проводяться періодичні зйомки для визначення осідань, зсувів, горизонтальних зміщень. При необхідності встановлюються автоматизовані датчики деформацій або маркери.

Після завершення будівництва виконується виконавча зйомка всіх об'єктів з відображенням фактичного розташування споруд. На основі зйомки складається виконавча геодезична документація, яка передається замовнику та подається до відповідних органів для реєстрації.

Усі дані обробляються в спеціалізованих програмних комплексах для побудови цифрових моделей місцевості, об'ємних розрахунків і 3D-візуалізації проектних рішень.

Таким чином, геодезичні роботи є ключовим компонентом технічного супроводу будівництва міні-ГЕС, що забезпечує точність реалізації проекту, гарантує безпеку об'єктів та формує документальну базу для подальшої експлуатації.

Висновки

Геодезичні роботи є фундаментальною складовою процесу будівництва міні-гідроелектростанцій. Їх системне виконання на всіх етапах реалізації проекту забезпечує точність позиціонування об'єктів, якість будівництва та подальшу безпечну експлуатацію. Використання сучасного геодезичного

обладнання, таких як GNSS-приймачі, лазерні сканери, безпілотні літальні апарати, у поєднанні з цифровими моделями місцевості та BIM-технологіями, значно підвищує ефективність інженерного супроводу. Розроблена блок-схема геодезичних робіт може слугувати методичною основою для планування й організації робіт на практиці. Таким чином, комплексне геодезичне забезпечення є запорукою надійного та ефективного впровадження міні-ГЕС як одного з елементів переходу України до сталої енергетики.

Література:

1. Вовчак, В., Тесленко, О., & Самченко, О. (2018). Мала гідроенергетика України. Том I: Аналітичний огляд. Інститут проблем екології та енергозбереження. <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES1.pdf>
2. Пелєвін, О. В. (2018). Обґрунтування доцільності встановлення малих ГЕС на малих річках України. *Відновлювана енергетика*, (3), 56–60. <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/download/171/113>
3. Григор'єва, Х. А. (2021). Мала гідроенергетика в Україні: юридичні проблеми розвитку (на матеріалах судової практики). *Часопис Київського університету права*, (2), 241–245. <https://chasprava.com.ua/index.php/journal/article/download/761/711/>
4. Мусінкевич, В. В., & Тептя, В. В. (2018). Аналіз розвитку малих гідроелектростанцій в Україні та їх участь у покритті графіка навантаження електромережі. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, (6), 118–123. <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/26848/7153.pdf>
5. Zhou, D., Li, Y., & Zhang, L. (2020). Small Hydropower Development in China: Practices and Perspectives. *Renewable Energy*, 158, 97–107
6. Midttømme, K., & Risan, L. C. (2014). Norway's Experience with Small Hydropower Plants. *Hydropower and Dams*, 21(5), 64–70.

Статтю надіслано: 05.05.2025 р.

© Романюк В.В.