



УДК 528.4

ENGINEERING AND GEODETIC SURVEY AND TOPOGRAPHIC SUPPORT FOR THE DESIGN OF A MINI HYDROPOWER PLANT

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ТОПОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЄКТУВАННЯ МІНІ-ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Romaniuk V.V. / Романюк В.В.*c.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 висвітлено результати комплексного інженерно-геодезичного обстеження території для будівництва міні-гідроелектростанції (міні-ГЕС). Основну увагу приділено послідовності та змісту геодезичних робіт — від камерального аналізу картографічних матеріалів до створення цифрової моделі рельєфу та топографічного плану. Описано застосування сучасних приладів: GNSS-приймачів, тахеометрів, безпілотників і наземного лазерного сканування, що забезпечили високоточні результати в умовах складного рельєфу. За результатами польових і камеральних робіт створено геодезичну основу проєкту, яка стала базою для проєктування інженерних споруд, їх просторової прив'язки та подальшого моніторингу. Запропонований підхід сприяє підвищенню точності, надійності й ефективності реалізації міні-ГЕС у важкодоступних природних умовах.

Ключові слова: інженерно-геодезичне обстеження, міні-ГЕС, GNSS, цифрова модель рельєфу, лазерне сканування, топографічний план.

Вступ.

У сучасних умовах пошуку екологічно чистих, локалізованих джерел енергії, особливого значення набуває розвиток малої гідроенергетики, зокрема будівництво міні-гідроелектростанцій. Україна, володіючи розгалуженою мережею малих річок, має значний потенціал для впровадження таких об'єктів, особливо в гірських і передгірських регіонах. Однак специфіка рельєфу, наявність труднощів доступу, потреба у високій точності розташування споруд та мінімізації ризиків роблять геодезичне забезпечення невід'ємною складовою процесу будівництва міні-ГЕС. Від якості інженерно-геодезичного обстеження залежить не лише правильність просторового планування, але й економічна доцільність, технічна безпека та успішна експлуатація гідротехнічного об'єкта. Використання GNSS-приймачів, лазерного сканування, БПЛА та цифрового



моделювання значно розширює технічні можливості геодезистів і дозволяє проводити зйомки з високою роздільною здатністю навіть у складних природних умовах.

Постановка проблеми

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.

Однією з ключових умов успішного проектування та реалізації міні-гідроелектростанцій (міні-ГЕС) є наявність повної, достовірної та актуальної геопросторової інформації про територію будівництва. Враховуючи складність природних умов, зокрема в гірських і прибережних районах, де найчастіше реалізуються міні-ГЕС, інженерно-геодезичне обстеження є критично важливим для формування техніко-обґрунтованих рішень. Однак у сучасній практиці часто спостерігається недооцінка ролі геодезичного етапу в загальній структурі проектування: зйомки проводяться поверхнево або з недостатньою щільністю, ігнорується цифрове моделювання рельєфу, не враховуються сезонні зміни гідроморфологічних характеристик.

Відсутність якісного інженерно-геодезичного обстеження призводить до помилок у виборі місця розташування гідроспоруд, неточностей у розрахунках гідравлічного падіння, нераціонального використання ресурсів або навіть конструктивних ризиків. У контексті переходу до сталих інженерних практик, необхідно не лише виконувати повний комплекс геодезичних робіт, а й впроваджувати сучасні методи збору, обробки та інтеграції просторових даних — зокрема GNSS-зйомку, лазерне сканування, аерофотозйомку з БПЛА та побудову цифрових моделей рельєфу. Це дозволить мінімізувати проектні та будівельні ризики, забезпечити нормативну точність та оптимізувати техніко-економічні показники міні-ГЕС.



Аналіз останні досліджень і публікацій

В Україні інженерно-геодезичні вишукування при проєктуванні та будівництві міні-гідроелектростанцій (міні-ГЕС) регламентуються низкою нормативних документів, зокрема ДБН В.1.3-2:2010, які визначають вимоги до точності вимірювань, методів зйомки та обробки даних. Ці нормативи забезпечують стандартизацію геодезичних робіт, що є критично важливим для точного позиціонування гідротехнічних споруд [1].

Наукові дослідження свідчать про ефективність впровадження сучасних геодезичних технологій, таких як GNSS, лазерне сканування та ГІС, у практику будівництва міні-ГЕС. Зокрема роботи [2] розглядають створення нових геодезичних мереж для гідротехнічних об'єктів з використанням GNSS та автоматизованих тахеометрів для моніторингу деформацій. Такий підхід дозволяє забезпечити точне позиціонування та оперативний контроль технічного стану споруд.

У роботі [3] досліджено інструменти для планування ресурсів малих ГЕС, включаючи цифрове моделювання рельєфу та використання ГІС для оцінки потенціалу і вибору місця розташування. Подібний геоінформаційний підхід також підтримується в дослідженнях [4], де описано інтегровану методику оцінювання гідропотенціалу для малих річок за допомогою геопросторового аналізу.

Інше важливе дослідження, виконане групою авторів, підкреслює значення комплексного підходу до оцінки міні-ГЕС через морфометричний аналіз та побудову цифрових моделей водозборів.

Таким чином, як нормативні, так і наукові джерела підтверджують важливість та необхідність використання сучасних геодезичних методів у процесі будівництва міні-гідроелектростанцій. Їх впровадження дозволяє мінімізувати похибки, оптимізувати просторове планування та забезпечити довгострокову безпеку експлуатації об'єктів гідроенергетики.



Виклад основного матеріалу дослідження

Інженерно-геодезичне обстеження є критично важливою складовою процесу проєктування та будівництва міні-гідроелектростанцій. Воно передбачає комплекс заходів, спрямованих на всебічне вивчення рельєфу, гідрологічних умов та існуючої забудови на території майбутнього будівництва. Якісно виконане обстеження забезпечує не лише точне позиціювання основних об'єктів, але й оптимізує техніко-економічні рішення щодо вибору місця розташування, конструкцій гідроспоруд і обсягів земляних робіт.

На першому етапі нами було проведено камеральне опрацювання наявних картографічних і геодезичних матеріалів (Рисунок 1). Це дозволило попередньо оцінити геопросторові характеристики території, визначити зони ризику підтоплення, а також уточнити технічне завдання для виїзної зйомки. Паралельно аналізувався гідрологічний режим річки, включно з коливаннями рівня води, що стало основою для розрахунку гідравлічного падіння.



Рисунок 1 - Район проведення топографо-геодезичних робіт



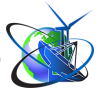
Польові роботи проводилися з використанням сучасного високоточного геодезичного обладнання, яке було підібране з урахуванням складного рельєфу, гідрологічних особливостей та необхідності мобільного розгортання польового комплексу. Центральне місце в польових вимірюваннях займав електронний тахеометр Trimble S7, оснащений функцією автоматичного наведення та безвідбивачевих вимірювань. Цей прилад дозволив виконувати знімання з високою кутовою та лінійною точністю, зокрема при зйомці інженерних об'єктів, профілів схилів і русел річок.

Для супутникового позиціонування використовувалися GNSS-приймачі Leica GS18 T, які працювали в RTK-режимі. Вони забезпечили швидке отримання координат у системі UTM із точністю до 1–2 см. Завдяки вбудованій IMU-системі цей приймач дозволив уникнути впливу нахилу віхи, що було особливо корисним у складних умовах місцевості, де неможливо встановити віху вертикально.

З метою виконання аерофотозйомки та побудови цифрових ортофотопланів було застосовано безпілотні літальні апарати DJI Phantom 4 RTK, що забезпечили роздільну здатність до 2 см/піксель. Завдяки інтегрованому RTK-модулю та центрованому GNSS-приймачу, результати зйомки мали високу просторову точність і не потребували щільного закладання наземних контрольних точок.

У місцях із обмеженим доступом, а також для деталізації складних елементів інфраструктури, використовувався наземний лазерний сканер Faro Focus 3D, що забезпечував щільність хмари точок до 1 мільйона точок/сек. Цей прилад дозволив отримати тривимірну модель місцевості з точністю до ± 2 мм на відстанях до 70 метрів, що стало основою для побудови точних цифрових моделей рельєфу та об'єктів.

Всі прилади працювали в єдиній системі координат, узгодженій із національною геодезичною системою. Встановлення геодезичних пунктів здійснювалося з прив'язкою до державної геодезичної мережі, що дало змогу забезпечити інтеграцію результатів у подальше проектування та будівництво. На



рисунку 2 відображено приклад частково опрацьованого району робіт на основі ортофотоплану.

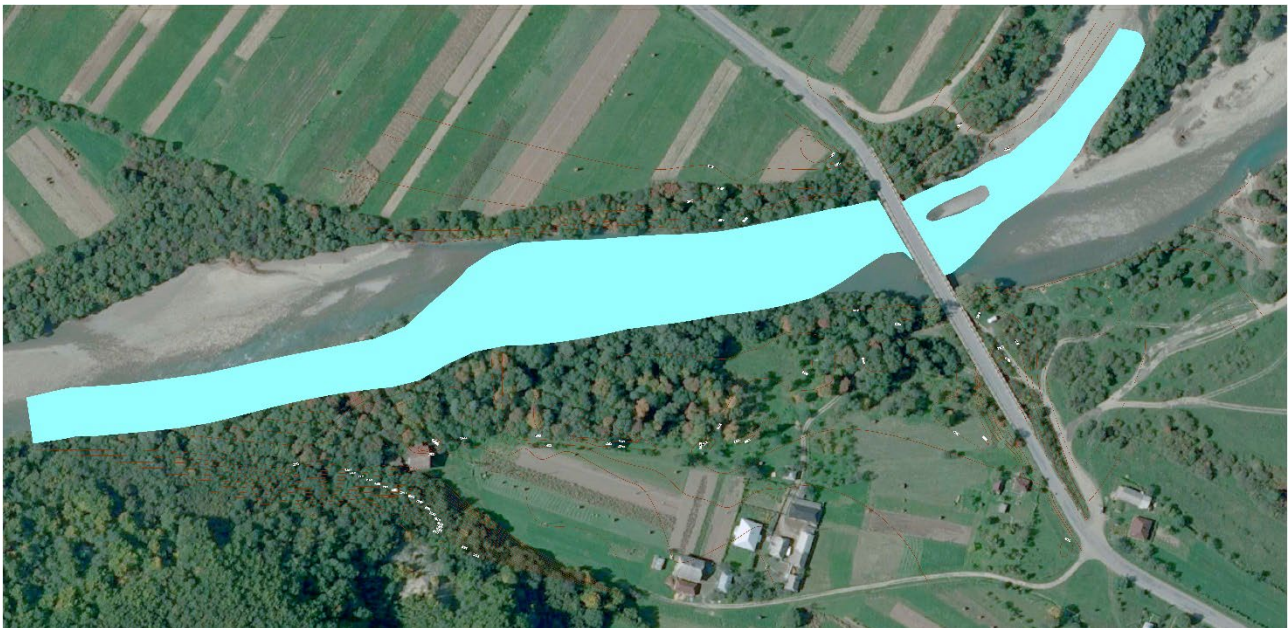
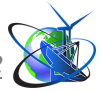


Рисунок 2 - Результат камерального опрацювання польових вимірі

Обробку результатів виконано в спеціалізованому програмному забезпеченні, що дозволило сформувати цифрову модель рельєфу (ЦМР), ортофотоплани, вертикальні профілі та аналітичні карти ухилів. Підсумкові геодезичні дані передано проектувальній групі у форматах, сумісних з CAD та ГІС-системами. Це забезпечило повну інтеграцію просторової інформації в структуру робочої проектної документації.

У результаті виконаних робіт було створено цілісну геодезичну модель ділянки, а також складено топографічний план місцевості (Рисунок 3), який відображає рельєф, гідромережу, інфраструктурні об'єкти та характерні особливості території. Цей план став основою для проектування всіх інженерних споруд, їх просторової прив'язки та подальшого технічного контролю будівництва, забезпечивши ефективну реалізацію проекту міні-ГЕС у складних природних умовах.

Проведене інженерно-геодезичне обстеження стало не лише базисом для проектування, але й основою подальшого моніторингу технічного стану споруд,



забезпечення їх експлуатаційної безпеки та супроводу виконавчої документації. У результаті виконаних робіт було створено цілісну геодезичну модель ділянки, що забезпечила ефективну реалізацію проєкту міні-ГЕС у складних природних умовах.



Рисунок 3 - Топографо-геодезичний план

Висновки.

Результати проведеного інженерно-геодезичного обстеження підтверджують важливість і доцільність застосування сучасних методів та обладнання в процесі проєктування міні-ГЕС. Використання GNSS-технологій, наземного лазерного сканування, аерофотозйомки та цифрового моделювання забезпечило отримання високоточних просторових даних, що стали основою для формування цифрової моделі рельєфу та складання топографічного плану території. Створена геодезична модель стала ключовим інструментом при розробці проєктної документації, розрахунках гідравлічного падіння та просторовій прив'язці об'єктів. Крім того, вона слугує фундаментом для подальшого технічного моніторингу й виконавчого контролю. Застосований підхід демонструє ефективність інженерно-геодезичних робіт як критичного чинника успішної реалізації проєктів малої гідроенергетики в Україні.



Література:

1. ДБН В.1.3-2:2010. (2010). Геодезичні роботи у будівництві. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3074223906081474102/2023-04-05/c6a5e10e-52ae-464d-892e-3e95419c61b6.pdf
2. Van Cranenbroeck, J., Balan, A., & Di Mauro, M. (2012). A new geodetic network design for hydro power plant. In FIG Working Week 2012 – Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage (Rome, Italy). https://www.fig.net/pub/fig2012/papers/ts09i/TS09I_vancranenbroeck_balan_et_al_5876.pdf
3. Punys, P., Dumbrauskas, A., Kvaraciejus, A., & Vyciene, G. (2011). Tools for small hydropower plant resource planning and development: A review of technology and applications. *Energies*, 4(9), 1258–1277. <https://doi.org/10.3390/en4091258>
4. Korkovelos, A., Mentis, D., Siyal, S. H., Arderne, C., Rogner, H., Bazilian, M., Howells, M., Beck, H., & De Roo, A. (2018). A geospatial assessment of small-scale hydropower potential in Sub-Saharan Africa. *Energies*, 11(11), 3100. <https://doi.org/10.3390/en11113100>

Abstract. *The article presents the results of a comprehensive engineering and geodetic survey of a site intended for the construction of a mini hydropower plant (mini-HPP). Particular attention is paid to the sequence and scope of geodetic works —from preliminary desk analysis of cartographic materials to the creation of a digital terrain model and topographic map. The use of modern instruments such as GNSS receivers, total stations, UAVs, and terrestrial laser scanners ensured high-precision results in complex terrain conditions. As a result of the field and office work, a geodetic base for the project was developed, which served as the foundation for the design of engineering structures, their spatial referencing, and further monitoring. The proposed approach contributes to improving the accuracy, reliability, and efficiency of mini-HPP implementation in remote and challenging natural environments.*

Key words: *engineering and geodetic survey, mini-HPP, GNSS, digital terrain model, laser scanning, topographic map.*

Статтю надіслано: 05.05.2025 р.

© Романюк В.В.