

ВСТУП

Нівелювання як інструмент використовували ще у найдавніші часи історії людства. Основним фактором практичного застосування нівелювання є економічне зростання людської спільноти. Давній Єгипет – одна із перших цивілізацій, яка намагалась з'єднати ріку Ніл з Червоним морем. Великі піраміди в Гізі свідчать про застосування ефективних методів приведення до горизонту великих кам'яних блоків, що вирішувало багато проблем будівництва. Під час археологічних досліджень на території Єгипту встановлено наявність тільки простих інструментів для точкового відтворення горизонту. Однак для нівелювання територій цих інструментів було б недостатньо. Про застосування нівелювання на великих територіях свідчать сліди іригаційної системи в долині Євфрату, яку побудувала Вавилонська держава, великі міста і розгалужена мережа доріг цивілізації Майя, масштабні будівельні проекти давніх греків та акведуки Римської імперії.

Вирішальною для впровадження високоточного нівелювання стала поява циліндричного рівня у середині XVII ст. Цей винахід французького мандрівника і письменника Мельхіседека (Ніколи) Тевено став основою для розроблення геодезичного нівеліра. Першим конструктором геодезичного нівеліра вважають англійського інженера-винахідника Вільяма Граватта, який на початку XIX ст. прикріпив циліндричний рівень до зорової труби. Ідея геодезичного нівеліра виникла у нього під час будівництва у Лондоні тунелю під рікою Темза. Працюючи інженером на залізниці, В. Граватт довів прилад до практичного використання. Фактично до сьогодні геодезичний нівелір не зазнав революційних змін. Поява лазерних та цифрових технологій у сучасних нівелірах є тільки удосконаленням ідеї Вільяма Граватта.

Відтоді високоточне нівелювання почало активно розвиватися. Це пов'язано насамперед із будівництвом залізничних колій, де визначати перевищення потрібно було із міліметровою точністю. Геодезичне нівелювання вже стає технологією. Для досягнення міліметрової точності результатів вимірювань виникає необхідність не тільки врахування інструментальних похибок, але й вирішення низки різних проблем урахування: впливу атмосферної рефракції на геодезичні виміри; зміни положення реперів у часі під дією тектонічних рухів земної кори та геоморфологічних факторів; впливу гравітаційного поля на результати вимірювань.

Результати досліджень цих проблем сьогодні дають змогу забезпечити точність визначення перевищень між реперами на рівні десятих міліметра. Лінії нівелювання об'єднані у державні висотні мережі, які є носіями відліку висот на території кожної країни. Держави Європейського Союзу об'єднали свої висотні

мережі в Єдину європейську нівелірну мережу UELN з єдиною вертикальною системою відліку EVRS.

9 червня 2023 року Кабінет Міністрів України прийняв постанову № 590 “Деякі питання використання Європейської вертикальної референцної системи (EVRS)”, розроблену Держгеокадастром спільно із Міністерством аграрної політики України. Цією постановою врегульовано питання використання на території України Європейської вертикальної референцної системи – European Vertical Reference System (EVRS) з 1 січня 2026 року, замість Балтійської системи висот 1977 р., яка не забезпечувала належну точність та зв’язок з єдиною системою висот, що використовують європейські країни.

Для використання на території України Європейської вертикальної референцної системи (EVRS) Держгеокадастр протягом 2020–2024 рр. виконував комплекс робіт щодо приєднання нівелірної (висотної) мережі України до Об’єднаної європейської нівелірної мережі – United European leveling network (UELN), яка реалізує Європейську вертикальну референцну систему, вихідним пунктом якої є нуль Амстердамського футштока.

Національний університет “Львівська політехніка” на замовлення Держгеокадастру в 2020–2024 рр. виконав комплекс робіт із нівелювання першого класу по лініях Львів – Перемишль, Ковель – Хелм, Львів – Ковель і Львів – Рава-Руська – Гребенне, що дало змогу визначити висоти реперів на перелічених лініях нівелювання у європейській системі висот EVRS. Проте для повного поширення ERVS на усю території України необхідно якнайшвидше вирішити нові проблеми, які з’явилися нещодавно. Останній цикл нівелювання I класу на території України здійснений у 1964–1992 рр. За останні 30 років висотне положення реперів змінилось під дією природних та техногенних чинників. Це вертикальні рухи земної кори, приповерхневі геоморфологічні та інженерно-геологічні процеси, видобування корисних копалин, зміна гідрографії регіонів. Це підтвердили результати вимірювань по лініях нівелювань 2022–2024 рр., на яких перевищення між деякими реперами змінились відносно попереднього циклу нівелювання на декілька сантиметрів.

Відповідно є два способи впровадження ERVS на території України. Перший – це зрівноваження раніше виконаних нівелювань з урахуванням перелічених чинників. Для цього потрібно розглянути Державну висотну мережу як кінематичну, виконати зрівноваження частково поновлюваних у часі вимірів цієї мережі з урахуванням деформацій земної поверхні. У будь-якому випадку це тимчасове вирішення проблеми. Другий спосіб – виконання повторного циклу нівелювання і визначення актуальних перевищень між реперами. Оскільки загальна довжина ліній високоточного нівелювання I та II класів на території України перевищує 20000 км, то виконання повного циклу нівелювання може затягнутись у часі. Щоб прискорити його, необхідно буде застосовувати методи

автоматизованого геометричного нівелювання, які практикують у Німеччині, або альтернативний метод двостороннього тригонометричного нівелювання, особливо для гірської місцевості, необхідна точність якого підтверджена експериментальними вимірюваннями. Крім цього, для обчислення висот реперів потрібно врахувати розподіл гравітаційного поля на території України. Враховуючи недосконалість гравіметричної мережі України, для визначення висот квазігеода необхідно, крім наземних, залучити сучасні супутникові вимірювання.

У монографії запропоновано теоретичне обґрунтування й описано експериментальні дослідження методів, необхідних для вирішення цих проблем.

Монографія складається із чотирьох розділів.

У розділі 1 “Розвиток висотної мережі на території України” (автори К. Р. Третяк і І. В. Брусак) наведено історичний огляд здійснення високоточних нівелювань на території України й актуальний стан Державної висотної мережі України.

У розділі 2 “Опрацювання та оптимізація частково поновлюваних кінематичних висотних мереж” (автор К. Р. Третяк) подано дві незалежні методики опрацювання висотних перманентно поновлюваних кінематичних мереж і редукування вимірів на будь-яку епоху, які суттєво підвищують точність визначення висот реперів і їх змін у часі. Наведено результати оцінювання точності Державної висотної мережі I і II класів України. Запропоновано просторово-часову оптимізацію вимірів Державної висотної мережі.

У розділі 3 “Тригонометричне нівелювання” (автор С. С. Перій) викладено теоретично обґрунтований та експериментально підтверджений метод двостороннього тригонометричного нівелювання, який за точністю не поступається геометричному нівелюванню II класу.

У розділі 4 “Оптимізація побудови квазігеода на територію України” (автор Д. О. Марченко) теоретично обґрунтовано моделювання висот квазігеода на основі даних ГНСС-нівелювання та аномалій сили тяжіння і виконано оптимізацію побудови моделі квазігеода на територію України з урахуванням сучасного світового підходу та досвіду аналогічних моделей.

Отримані у монографії результати досліджень можуть істотно пришвидшити введення на території України Європейської системи висот, що матиме не тільки економічне, але і політичне значення, оскільки зникне одна із перешкод для вступу України у спільноту європейських країн.

Автори висловлюють подяку керівництву Держгеокадастру, зокрема колективу Науково-дослідного інституту геодезії і картографії, за багаторічну співпрацю з Національним університетом “Львівська політехніка”, яка надихнула авторів підготувати цю монографію.