

УДК: 528.5

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-04](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-04)

**ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ
ГЕОДЕЗИЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ:
ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО
НІВЕЛЮВАННЯ**

**THE HISTORICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT
OF GEODESIC INSTRUMENT CONSTRUCTION:
INSTRUMENTS FOR GEOMETRIC LEVELING**

Верешко О.В., старший викладач (Луцький національний технічний університет), Король П.П., к. геогр. н., доцент, Пугач С.О., д. геогр. н., професор (Волинський національний університет імені Лесі Українки)

Vereshko O.V., senior lecturer (Lutsk National Technical University), Korol P.P., Ph.D. (Geography), Associate Professor, Puhach S.O., DS (Geography), Professor (Lesya Ukrainka Volyn National University)

У даній роботі з історичних позицій проаналізовано еволюційний розвиток геодезичного приладобудування на прикладі приладів для виконання геометричного нівелювання: від римського хоробата до автоматичного оптичного нівеліра з компенсатором і внутрішнім фокусуванням. Підкреслено важливість конструктивних удосконалень оптичних геодезичних приладів та їх внесок у розробку сучасних електронних нівелірів.

Leveling is the most common type of topographic-geodetic work, which is performed to determine elevations between points on the physical surface of the Earth or their heights relative to the accepted starting surface. Geometric leveling is the most accurate method of all leveling methods. In geometric leveling, a horizontal sighting beam is used, which is obtained mainly with the help of geodetic devices, which are called levels. In general, this type of work is performed with equipment, which includes a tripod, a pair of rails, and a level, which, of course, is the main part of the set. An optical level is the simplest and most common geodetic device designed to measure elevations of one point of terrain over another. Their diversity is due to a wide range of areas of application: from construction and installation of equipment to the creation of state leveling networks. Devices are used to determine the difference in height of points. According to accuracy, these devices are divided into technical levels, accurate, and high-precision levels. Most modern optical levels are equipped with an automatic compensator (for automatic setting of the sighting axis in a horizontal position), have a direct image, and a horizontal limb (the price of a division of 1°). Some models of levelers have a special device to protect the compensator

mechanism from accidental shocks and damage when carrying the leveler in a case. Readings are taken using special leveling rails. The difference between the readings gives an excess on the terrain.

In this work, the evolutionary development of geodetic instrumentation is analyzed from a historical perspective using the example of devices for performing geometric leveling: from the Roman trowel to the automatic optical leveler with a compensator and internal focusing. The importance of constructive improvements of geodetic instruments and their influence to the development of modern electronic levels is emphasized.

Ключові слова: геометричне нівелювання, оптичний нівелір, циліндричний контактний рівень, компенсатор, внутрішнє фокусування зорової труби

Keywords: geometric leveling, optical level, cylindrical contact level, compensator, internal focusing of the optical tube

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку топографо-геодезичного виробництва до виконання польового етапу робіт висувуються підвищені вимоги, зокрема вони повинні проводитись у найкоротші терміни і з максимальною точністю, тому виконавці масово замінюють перевірені роками аналогові оптичні прилади сучасним цифровим і лазерним обладнанням. Новітні моделі геодезичних вимірвальних приладів, зокрема нівелірів, широко використовуються у промисловому і цивільному будівництві, картографії, маркшейдерії тощо.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Проблема необхідності удосконалення геодезичних приладів, зокрема нівелірів, активно досліджується у працях вітчизняних та зарубіжних науковців О. Анисенка, К. Платонові [1], В. Борового [2], Я. Костецької [5], Л. Назарова, А. Алтинова, В. Грошева [8], О. Мороза, І. Тревого, Т. Шевченко [10, 11] та ін. Ними здійснено вагомий внесок у розвиток даного напрямку наукових досліджень, але теоретичні та методичні засади здійснення модернізації геодезичних приладів є недостатньо дослідженими і потребують подальшого вивчення з позицій ретроспективного аналізу практичних здобутків у сфері геодезичного приладобудування минулих років.

Формулювання мети, постановка завдання статті. Першочерговим завданням дослідження є обґрунтування доцільності та напрямків вдосконалення конструкції сучасних електронних нівелірів на основі детального аналізу еволюції приладів для виконання геометричного нівелювання: від найпростішого римського хоробата до автоматичного оптичного нівеліра з компенсатором і внутрішнім фокусуванням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нівелювання є найпоширенішим видом топографо-геодезичних робіт, що проводиться з метою встановлення перевищень між точками фізичної поверхні Землі або їх висот відносно заданої вихідної рівневої поверхні. Нівелювання

використовується для визначення висот опорних точок державної і знімальних висотних та планово-висотних геодезичних мереж, а також мереж згущення, при топографічних зніманнях місцевості, при будівництві шляхів сполучення, водо- та газопроводів, промислових та соціально-культурних об'єктів тощо. Існують різні методи нівелювання: геометричне, тригонометричне, фізичне (барометричне, лазерне, гідро- та аеронівелювання), стереофотограмметричне, механічне. Основним і найбільш поширеним методом нівелювання є геометричне нівелювання. При геометричному нівелюванні використовується горизонтальний промінь візування, який отримують переважно за допомогою геодезичних приладів, які називають нівелірами. Загалом, даний вид робіт виконується комплектом устаткування, до складу якого входять штатив, пара рейок і нівелір, що, безумовно, є основною частиною комплекту.

Класичний оптичний нівелір має багатолітню історію, що налічує не одне століття, а його конструкція зазнавала постійних змін і удосконалень.. На даний час найпоширенішими є автоматичні оптичні нівеліри – прилади, які містять спеціальний конструктивний вузол – компенсатор, що призначений для автоматичного утримання оптичної осі нівеліра в робочому горизонтальному положенні. Застосування такого підходу значно підвищує надійність кінцевих результатів, спрощує та оптимізує працю виконавців і економить їх робочий час. У результаті розвитку сучасних технологій з'явилися нові види приладів: електронні (цифрові) і лазерні нівеліри. У даній роботі розглядається еволюція розвитку оптичних інструментів, що реалізують метод геометричного нівелювання.

В епоху еллінізму (323-30 рр. до н. е.) як особливого етапу в розвитку давньогрецької культури, інструментарій землеміра досягнув високого рівня розвитку. У розпорядженні землеміра, крім діоптри і громи, що використовувались для побудови на місцевості перпендикулярних і паралельних ліній, знаходився хоробат – точний інструмент для виконання геометричного нівелювання. У наукових працях сучасних авторів наводяться ілюстрації реконструкції хоробата у вигляді бруса довжиною 6 м з жолобом у центрі для водяного рівня, двома висками та візирами на його протилежних кінцях (рис. 1).

У II ст. до н. е. Герон Александрійський у трактаті «Про діоптри» описує конструкцію водяних нівелірів, що використовувались на той час і складались з двох заповнених рідиною сполучених посудин з діоптрами та рейками. Надалі водяні нівеліри з аналогічним принципом роботи, в основу роботи яких покладено закони гідростатики, згадуються в інженерних розробках винахідників епохи Відродження (XIV-XVI ст.) у дещо видозміненому вигляді. На середині з'єднувальної металічної трубки було розміщено гільзу для насадки на цапфу штатива, а на її кінцях з

перпендикулярними згинами догори, були вставлені скляні колби, як правило, однакового діаметра. Нівеліри, що конструктивно склались із латунної трубки зі скляними колбами на обох її кінцях, використовувались до початку ХХ ст. Подальше вдосконалення конструкції дозволило розробити прилади для виконання гідростатичного і гідромеханічного нівелювання.



Рис. 1. Зовнішній вигляд хоробата (реконструкція)

Значним кроком у вдосконаленні приладів для вимірювання перевищень методом геометричного нівелювання стала поява циліндричного рівня, який був виготовлений у 1662 році французьким механіком Мельхіседеком Тевено (1620-1691). Циліндричний рівень представляє собою скляну трубку або ампулу, внутрішня поверхня якої у поздовжньому розрізі має вигляд дуги круга радіусом від 3,5 до 200 мм. При виготовленні рівня ампулу заповнюють легкорухомою рідиною, нагрівають та запаюють. Після охолодження всередині ампули утворюється невеликий простір, заповнений парами рідини, який називають бульбашкою рівня. Найпростішим нівеліром є алідада з циліндричним рівнем і двома діоптрами. Алідада обертається у горизонтальній площині відносно підставки з трьома підйомними гвинтами, що скріплюється з штативом. Циліндричний рівень великої довжини з малою кривиною підвищує чутливість інструмента до його нахилу у горизонтальній площині, а підставка з підйомними гвинтами забезпечує його стійкість. Більшість дослідників відносять геодезичні прилади, зокрема нівелір, до класу оптико-механічних за умови наявності зорової труби з системою лінз, тому таку конструкцію алідади з рівнем та діоптрами можна вважати початком етапу переходу від механічних нівелірів до оптико-механічних, оскільки в такому випадку пара діоптрів виконує роль зорової труби з сіткою ниток.

Принципові зміни у конструкції геодезичних приладів, зокрема нівеліра, відбулись у 1609 році після винаходу Галілео Галілеєм (1564-1642) зорової труби, а також у 1611 році після додавання Йоганном Кеплером (1571-1630) сітки ниток в поле зору зорової труби. Першим, хто використав переваги зорової труби з сіткою ниток для виконання геодезичних вимірювань, був Жан Пікар (1620-1682), який «оснастив прицільний пристрій свого квадранта не відкритими діоптрами, а лінзами і сіткою ниток». Запропонована конструкція дозволяла, з одного боку, однозначно зафіксувати візирну вісь зорової труби відносно її корпусу, а з іншого – визначати її висотне положення за розміщенням горизонтальної лінії сітки ниток на рейці, що знаходиться на значній відстані (від 50 і більше метрів) від приладу. Перші конструкції нівелірів із зоровою трубою з'явились на початку XIX ст., зокрема вперше нівелір із зоровою трубою для визначення висот точок місцевості горизонтальним променем візування був використаний французьким інженером Бурдалем у 1857-1864 рр.

У XIX столітті широкого поширення у світі набули нівеліри «французької» конструкції або нівеліри «з перекладною трубою і рівнем при підставці»: на тригері з трьома підйомними гвинтами закріплювалась підставка з циліндричним рівнем, на краях якої розміщувались вилкоподібні опори – «лагери» або «цапфи», в які, перед виконанням вимірювання перевищення двома варіантами, закладалась і закріплювалась зорова труба (рис. 2).



Рис. 2. Нівелір з перекладною трубою типу Его
Франція, DROUHIN CONSTRUCTEUR (кінець XIX – початок XX ст.)

У першому варіанті об'єктів труби знаходився зліва від підставки, а у другому – справа. При цьому зміна напрямку візування здійснювалась не поворотом підставки на 180° , а зміною положення труби в лагерах. Така конструкція забезпечувала значне підвищення точності вимірювання

перевищень. Крім «французької», використовувались і інші конструкції нівелірів, зокрема «німецька», у якій циліндричний рівень розміщувався під зоровою трубою і жорстко прикріплювався до неї, та «швейцарська» – з циліндричним рівнем над зоровою трубою. Перевага двох останніх конструкцій над «французькою» є очевидною, оскільки зорова труба може мати нахил при перекладанні на «строго горизонтальних лагерах», а наявність рівня при трубі дозволяє одразу виявляти дану помилку.

На територіях з незначними перепадами висот нівеліри широко використовувались при вертикальному зніманні місцевості, виконанні розмічувальних робіт і відкладанні заданих напрямків. З цією метою вони доповнювались засобами орієнтування, наприклад, бусоллю, яка жорстко скріплювалась з підставкою. Використання бусолі для визначення азимута напрямку виявилось корисною опцією при роботі з нівелірами з перекладною трубою, тому вони використовувались до середини ХХ ст.

З часом, при експлуатації, точність нівелірів з перекладною трубою зменшувалась, оскільки при виконанні польових робіт ложементи лагерів зношувались або забруднювались, що призводило до порушення горизонтального положення візирної осі зорової труби. Постійне підвищення вимог до точності вимірювання перевищень методом геометричного нівелювання вимагало розробки нових конструкторських рішень, тому згодом була запропонована нова конструкція, яка отримала достатньо просту і лаконічну назву – нівелір глухий (рис. 3). Назва нівеліра відповідала конструктивному розміщенню трьох основних його складових частин – зорової труби, циліндричного рівня і підставки, які «з'єднувались між собою наглухо, без можливості будь-яких перекладань».

Глухі нівеліри почали виготовляти на початку ХХ ст. і поступово витіснили нівеліри з перекладною трубою. Як і нівеліри з перекладною трубою, так і глухі нівеліри нерідко використовувались при висотному зніманні територій.

Таке знімання виконувалось за попередньо закріпленими на місцевості точками або безпосередньо у процесі нівелювання. З цією метою виготовлялись нівеліри з горизонтальним кругом, що складалися із лімба, закріпленого на підставці, і аліади, розміщеної співвісно з ним, що обертається разом з трубою. У вищеописаних конструкціях нівелірів технологією вимірювань було передбачено, що спочатку бульбашка циліндричного рівня приводиться у нуль-пункт, а тоді береться відлік за

рейкою. З метою скорочення проміжку часу між цими операціями та контролю положення бульбашки рівня при взятті відліку, в деяких конструкціях нівелірів початку ХХ ст. зображення бульбашки рівня за допомогою дзеркальця передавалось у поле зору труби у вигляді «розрізаного» рівня. Саме «розрізаний» або «контактний рівень» виявився більш ефективним і простим рішенням, а тому почав широко використовуватись у глухих нівелірах.



Рис. 3. Нівелір глухий з висувним об'єктивом і трьома зйомними ніжками США, Нью-Йорк, Keuffel & Esser Co. (1914-1915 pp.)

До істотних змін у конструкції нівелірів призвів винахід компенсатора – пристрою для автоматичного «утримання» лінії візування у горизонтальному положенні. Прилади такого типу також називають нівелірами із самовстановною лінією візування. Циліндричний рівень був замінений автоматичним пристроєм, що дозволяє встановлювати візирну вісь у горизонтальне положення при куті її нахилу до декількох хвилин. Наявність компенсатора значно підвищує продуктивність геометричного нівелювання, що дозволяє скоротити час роботи до 40%. Першими нівелірами із самовстановною лінією візування можна вважати маятникові нівеліри-ватерпаси з діоптрами. Після цього з'явилися маятникові нівеліри із зоровою трубою. Одним з таких приладів був маятниковий ватерпас Пікара (XVII ст.), що складався із зорової труби і коробки з маятником довжиною 1,3 м. Подібна конструкція була застосована у маятниковому

нівелірі Гульє, що призначався для виконання маркшейдерських робіт та в нівелірах з перископічною трубою і самовстановною лінією візування.

Висновки. Детальний аналіз конструктивних удосконалень дозволить прослідкувати еволюційний розвиток приладів для виконання геометричного нівелювання. Наступним кроком у розвитку нівелірів стало створення оптико-електронних або цифрових (електронних) нівелірів, які варті окремого дослідження і обговорення.

References

1. Anysenko O.V., Platonova K.A. Suchasni heodezychni prylady, yikh znachennia i rol u heodezychnykh vymiriuvanniakh. Investytsii: praktyka ta dosvid. – 2019. – № 4. – S. 80-83. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.4.80
2. Borovyi V.O. Heodezychni prylady: konspekt leksii dlia studentiv spetsialnosti 6.070904 – Zemlevporiadkuvannia ta kadastr, 7.070908 – Heoinformatsiini systemy i tekhnolohii. / V.O Borovyi, R.M. Litnarovych. – Chernihiv: ChDIEiU, 2003. – 94 s.
3. Heodezychni prylady ta pryladdia: navchalnyi posibnyk / V. Vashchenko, V. Litynskyi, S. Perii; Natsionalnyi universytet «Lvivska Politekhnikha». – Lviv: Yevrosvit, 2003. – 160 c.
4. Ilkiv Ye.Iu., Haliarnyk M.V., Pryimak D.P. Heodezychne pryladoznavstvo: laboratornyi praktykum. – Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2012. – 123 s.
5. Kostetska Ya.M. Heodezychni prylady. Chastyna II. Elektronni heodezychni prylady : pidruchnyk dlia studentiv heodezychnykh spetsialnosti vuziv. – Lviv : IZMN, 2000. – 324 s.
6. Kuzmin V.I., Biliatynskyi O.A. Inzhenerna heodeziia v dorozhnomu budivnytstvi – K.: Vyshcha shkola, 2006. – 278 s.
7. Metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robit z dystsypliny «Heodezychni prylady z osnovamy metrolohii ta standartyzatsii» dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity pershoho (bakalavrskoho) rivnia za spetsialnistiu 193 «Heodeziia ta zemleustrii» Chastyna II. Optychni heodezychni prylady. Metrolohiiia. / S.M. Trokhymets, O.Ie. Yanchuk, R.S. Nimkovych. – Rivne: NUVHP, 2021. – 45 s. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/17837/>
8. Nazarov L.S., Altymov A.A., Hroshev V.V. Razvytye heodezycheskoho pryborostroeniya. Nyvelyr. / Heoprofy. – 2017. – №1. – S. 50-53., – №3. – S. 48-51., – №6. – S. 48-52., – 2018. – №1. – S. 49.
9. Nivelir: terminolohichni slovnyk-dovidnyk z budivnytstva ta arkhitektury / R. A. Shmyh, V. M. Boiarchuk, I.M. Dobrianskyi, V.M. Barabash; za zah. red. R.A. Shmyha. – Lviv, 2010. – S. 133. – ISBN 978-966-7407-83-4.

10. Trevoho I.S., Shevchenko T.H., Moroz O.I. Heodezychni pryklady: praktykum. – Lviv, 2007. – 196 s.

11. Shevchenko T. H., Moroz O. I., Trevoho I. S. Heodezychni pryklady: pidruchnyk / za red. T. H. Shevchenka. – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2009. – 484 s.

Список використаної літератури

1. Анисенко О.В., Платонова К.А. Сучасні геодезичні прилади, їх значення і роль у геодезичних вимірюваннях. Інвестиції: практика та досвід. – 2019. – № 4. – С. 80-83. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.4.80

2. Боровий В.О. Геодезичні прилади: конспект лекцій для студентів спеціальностей 6.070904 – Землепорядкування та кадастр, 7.070908 – Геоінформаційні системи і технології. / В.О Боровий, Р.М. Літнарівич. – Чернігів: ЧДІЕіУ, 2003. – 94 с.

3. Геодезичні прилади та приладдя: навчальний посібник / В. Ващенко, В. Літинський, С. Перій; Національний університет «Львівська Політехніка». – Львів: Євросвіт, 2003. – 160 с.

4. Ільків Є.Ю., Галярник М.В., Приймак Д.П. Геодезичне приладознавство: лабораторний практикум. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 123 с.

5. Костецька Я.М. Геодезичні прилади. Частина II. Електронні геодезичні прилади : підручник для студентів геодезичних спеціальностей вузів. – Львів : ІЗМН, 2000. – 324 с.

6. Кузьмін В.І., Білятинський О.А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві – К.: Вища школа, 2006. – 278 с.

7. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Геодезичні прилади з основами метрології та стандартизації» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» Частина II. Оптичні геодезичні прилади. Метрологія. / С.М. Трохимець, О.Є. Янчук, Р.С. Німкович. – Рівне: НУВГП, 2021. – 45 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/17837/>

8. Назаров Л.С., Алтынов А.А., Грошев В.В. Развитие геодезического приборостроения. Нивелир. / Геопрофи. – 2017. – №1. – С. 50-53., – №3. – С. 48-51., – №6. – С. 48-52., – 2018. – №1. – С. 49.

9. Нівелір: термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш; за заг. ред. Р.А. Шмига. – Львів, 2010. – С. 133. – ISBN 978-966-7407-83-4.

10. Тревого І.С., Шевченко Т.Г., Мороз О.І. Геодезичні прилади: практикум. – Львів, 2007. – 196 с.

11. Шевченко Т. Г., Мороз О. І., Тревого І. С. Геодезичні прилади: підручник / за ред. Т. Г. Шевченка. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 484 с.