

# ГЕОДЕЗИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ГІДРОСТАТИЧНИМ НІВЕЛЮВАННЯМ ЯКОСТІ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ

Вінницький національний технічний університет

*За результатами аналізу досліджень охарактеризовано існуючі гідростатичні нівеліри, які використовують в будівництві при високоточному монтажі елементів будівель та споруд, інженерних мереж та технологічного обладнання. Визначено їх конструктивні особливості, переваги та недоліки, точність вимірювання перевищень. Запропоновано конструкцію гідростатичного нівеліра для визначення значних величин перевищень, що перевищують висоту сполучених між собою посудин. Прилад містить базову та небазову посудини заповнені робочою рідиною та гідравлічно з'єднані між собою гнучким трубопроводом. В небазовій посудині розміщено підпружинний поплавок, жорстко з'єднаний зі штоком, який може вільно переміщуватися по вертикалі. Посудини обладнані підплатниками для встановлення їх в точках, між якими визначається перевищення. На сполучених між собою посудинах нанесено шкали для взяття відліків. Наведено формулу для визначення значних перевищень з врахуванням поправки на величину компенсації надлишкового тиску робочої рідини з врахуванням зусиль, які сприймають пристрої демфування. Запропоновано уточнену формулу для визначення середньої квадратичної похибки визначення перевищення гідростатичним нівелюванням з врахуванням похибки за неточність компенсації надлишкового тиску робочої рідини з врахуванням зусилля демфування тиску.*

**Ключові слова:** геодезичні роботи, гідростатичний нівелір, визначення перевищень, контроль якості, точність вимірювань, середня квадратична похибка.

## Вступ

В процесі зведення будівель та споруд, прокладання інженерних мереж, монтажі технологічного обладнання здійснюють геодезичний контроль точності геометричних параметрів [1,2,3,4], який є обов'язковою виробничою операцією контролю якості. Похибки вимірювань в процесі інструментального геодезичного контролю не повинні перевищувати допустимих відхилень, регламентованих нормативними стандартами та проектною документацією [1,3].

Контроль висотного положення здійснюють нівелюванням. При обмежених умовах будівельного майданчика, відсутності можливості прямого спостереження між пунктами визначення перевищень геометричним нівелюванням практично неможливе. В таких випадках доцільно використовувати гідростатичні та гідромеханічні прилади [2] геодезичного контролю якості будівельно-монтажних робіт. Теоретичні дослідження та практичний досвід використання гідростатичного нівелювання при виконанні геодезичних робіт в будівництві свідчать про необхідність вдосконалення конструкцій приладів та методики визначення перевищень й оцінки точності результатів вимірювань.

## Актуальність та аналіз останніх досліджень і публікацій

Індустріальні методи зведення інженерних споруд та монтажу технологічного обладнання передбачають встановлення їх в проектне положення в межах нормативних допусків [1,3]. Допуски точності геодезичних вимірювань регламентуються ДБН [1] з врахуванням виду робіт відповідно до вимог проектної документації стосовно визначення планового або висотного положення окремих елементів споруд або конструкцій.

Гідростатичні нівеліри, які використовуються в будівництві при високоточному монтажі технологічного обладнання, дозволяють визначати перевищення в межах 25...100 мм зі середньою квадратичною похибкою ( $\pm 0,01...0,02$ )мм [2]. Конструкції таких гідростатичних нівелірів чутливі до зміни температур на відкритих будівельних майданчиках та не дозволяють визначити значні перевищення між елементами будівництва.

Гідромеханічне нівелювання ґрунтується на вимірюванні надлишкового тиску або вакуума, що створюється стовпом рідини в гідростатичній системі приладу [2]. Гідромеханічний нівелір містить дві посудини заповнені робочою рідиною та з'єднані між собою гнучким трубопроводом. На одній із посудин розміщено мановакууметр, а на другій посудині – компенсатор. Межа вимірювання перевищень може досягати 5 м, а точність визначення перевищень  $\pm 20$  мм. Точність визначення перевищень гідромеханічним нівелюванням залежить від зміни барометричного тиску, точності моновакууметра, щільності та температури робочої рідини та її рівня в компенсаторі.

Для визначення значних перевищень при геодезичному забезпеченні будівництва також можна

використовувати гідростатичний нівелір в якому одна із посудин заповнена ртуттю, а друга – водою [2]. Так як густина ртуті в 13,5 разів більше густини води, то максимальне значення перевищення, яке можна визначити, становить 13,5 м. Причинами похибок при визначенні перевищень цим гідростатичним нівеліром можуть бути неточність фіксації поверхні рідин в посудинах, вплив тиску та температури, а також неточність розміщення приладу.

Відомий волоконно-оптичний рівнемір гідростатичного нівеліра [5], який містить рівнемір. Корпус рівнеміра частково заповнений рідиною, над рівнем якої розташовано зонд. Зонд виготовлено із кварцового оптичного волокна у вигляді спрямованого відводу з двома рукавами. Один рукав відводу зв'язаний з джерелом світла, а інший рукав з'єднаний з фотоприймачем. У фотоприймачі оптичний сигнал перетворюється в електричний і реєструється електронно-обчислювальною апаратурою як базовий. Недоліком такого волоконно-оптичного нівеліра є складність конструкції та необхідність перетворення оптичного сигналу в електричний за допомогою електронно-обчислювальної апаратури.

Відомі зарубіжні гідростатичні нівеліри марок PSW2, ASW2000, ASW101N дозволяють визначати перевищення від 50 до 100 м з точністю  $\pm 0,01$  мм [6], які мають відповідні переваги та недоліки.

Аналіз літературних джерел свідчить про наявність різних за конструкцією приладів для визначення перевищень гідростатичним нівелюванням. Ці прилади дозволяють з заданою нормативною точністю визначати перевищення. Незважаючи на перевагу простих в конструктивному виконанні гідростатичних нівелірів вони не дозволяють визначати перевищення більше 300 мм. Нівеліри за допомогою яких можна визначити перевищення до 5 м є складні в конструктивному виконанні, а на точність визначення перевищень впливає тиск та температура зовнішнього середовища. Одним із шляхів усунення цих недоліків є вдосконалення конструкцій гідростатичних нівелірів.

### Формування мети та постановка задачі статті

Аналіз існуючих гідростатичних нівелірів, які можуть бути використані для геодезичного моніторингу відповідності фактичного висотного положення елементів будівель та споруд та їх окремих конструкцій, а також монтажу технологічного обладнання їх проектним величинам, дозволив сформулювати мету та задачі статті. Метою роботи є вдосконалення інструментарію та методології гідростатичного нівелювання при визначенні значних перевищень між елементами будівель і споруд, інженерних мереж та технологічного обладнання. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити конструкцію гідростатичного нівеліра для визначення значних перевищень та технологію його використання;
- запропонувати удосконалену методику оцінювання точності визначення перевищень при гідростатичному нівелюванні.

### Результати досліджень

Для визначення значних перевищень між окремими елементами будівель та споруд, інженерних мереж та технологічного обладнання запропоновано вдосконалену конструкцію гідростатичного нівеліра [7].

На рис. 1 представлена конструктивна схема гідростатичного нівеліра [7], що дозволяє здійснювати геодезичний контроль при значних перевищеннях.

Гідростатичний нівелір передбачає базову 1 та небазову 2 посудини заповнені робочою рідиною, які містять верхню 3 та нижню 4 кришки. Нижня частина базової посудини 1 та небазової посудини 2 обладнано штуцерами 5 з вентилями 6. Посудини 1 та 2 гідравлічно поєднані між собою гнучким трубопроводом 7 та мають підп'ятники 8 для встановлення їх в точках, між якими визначається перевищення. На гідравлічно сполучених між собою посудинах 1 та 2 нанесено шкали 9 для реєстрації в них відліків рівнів робочої рідини. Небазова посудина 2 містить поплавков 10 з ущільнювачем 11 по зовнішньому периметру. Поплавков 10 жорстко з'єднано зі штоком 12, який може вільно переміщуватись в отворі 13 верхньої кришки 3 небазової посудини 2. Між поплавком 10 та верхньою кришкою 3 небазової посудини 2 розміщено пружину 14. На верхніх кришках 3 обох посудин розміщено круглі рівні 15.

Визначення перевищень гідростатичним нівеліром здійснюється наступним чином. Гідравлічно сполучені трубопроводом 7 базова 1 та небазова 2, які внизу герметично закриті нижніми кришками 4, що заповнені робочою рідиною, установлюють підп'ятниками 8 на елементи будівельних конструкцій. Вертикальне положення посудин 1 та 2 контролюють за допомогою круглих рівнів 15.

Відкривають вентилі 6 біля штуцерів 5 для перегітання робочої рідини по трубопроводу 7 між посудинами 1 та 2. Під дією гідростатичного тиску робочої рідини між посудинами 1 та 2 поплавки 10 зі штоком 12 переміщуються в небазовій посудині 2. Запобіганню перетоку робочої рідини в небазовій посудині між її окремими частинами перешкоджає ущільнювач 11 по зовнішньому периметру поплавка 10. Поплавок 10 переміщуючись разом зі штоком 12 через отвір 13 верхній кришці 3 в небазовій посудині 2 стискають пружину 14. Після настання рівноваги робочої рідини в посудинах 1 та 2 беруть відліки по шкалах 9. За відомою формулою з врахуванням зусилля, яке сприймає пружина 14, обчислюють перевищення між окремими елементами будівельних конструкцій.

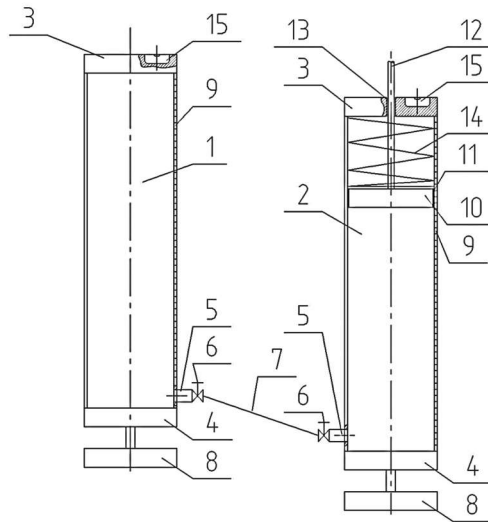


Рисунок 1 – Гідростатичний нівелір [7]

Перевищення між окремими будівельними елементами будівельних конструкцій та технологічного обладнання визначають за формулою

$$h = (l_1 - c_1) - (l_2 - c_2) + \Delta h, \quad (1)$$

де  $l_1$  та  $l_2$  – висоти нульових поділок на шкалах 9 реєстрації відліків робочої рідини на базовій 1 та небазовій 2 посудин (рис.);

$c_1$  та  $c_2$  – відліки на шкалах 9, що відповідають рівню робочої рідини в базовій 1 та небазовій 2 посудинах;

$\Delta h$  – поправка за величину компенсації надлишкового тиску робочої рідини з врахуванням зусилля, які сприймають пристрої демфування тиску, для яких визначальною характеристикою є жорсткість пружини 14 (рис.1)

Джерелами систематичних та випадкових похибок при гідростатичному нівелюванні є: невертикальність посудин 1 та 2, зміна температури робочої рідини в процесі взяття відліків, похибки відліків на шкалах 9, неточність фіксації відлікової шкали з поверхнею робочої рідини та інші.

Середня квадратична похибка визначення перевищення гідростатичним нівелюванням визначається за формулою

$$m_h^2 = m_b^2 + m_\phi^2 + m_T^2 + m_n^2 + m_k^2, \quad (2)$$

де  $m_b$  – середня квадратична похибка взяття відліків;

$m_\phi$  – середня квадратична похибка фіксації відлікової шкали;

$m_T$  – середня квадратична похибка за зміни температури робочої рідини;

$m_n$  – середня квадратична похибка із за невертикальності посудин із робочою рідиною;

$m_k$  – середня квадратична похибка за неточності компенсації надлишкового тиску робочої рідини з врахуванням зусилля, яке сприймають пристрої демфування тиску (рис.1)

Рекомендована формула (2) обчислення середньої квадратичної похибки визначення перевищення гідростатичним нівелюванням дозволить оцінювати якість будівельно-монтажних робіт з врахуванням точності виконання геодезичних робіт.

## Висновки

Запропонована конструкція гідростатичного нівеліра дозволить забезпечити геодезичний

контроль точності геометричних параметрів при виконанні будівельно-монтажних робіт у випадку значних величин перевищень між окремими елементами будівельних конструкцій та технологічного обладнання.

Удосконалена методика оцінювання точності визначення перевищень при гідростатичному нівелюванні дозволить за результатами геодезичного моніторингу підвищити точність обробки отриманих даних при оцінюванні якості будівельно-монтажних робіт.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.3-2 Геодезичні роботи в будівництві. К.: Мінрегіонбуд України. 2010. 70 с.
2. С. П. Войтенко. Геодезичні роботи в будівництві. Навч. посібник. К.: ІСДО, 1993. 144 с.
3. О. М. Лівінський та ін. Контроль якості будівельно-монтажних робіт. К.: «МП Леся». 2018. 776 с.
4. Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич, Ю. С. Бікс, Т. Ю. Вовк. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 2. Навч. посібник. Вінниця: ВНТУ, 2014. 99 с.
5. Волоконно-оптичний рівнемір гідростатичного нівеліра. Пат. 6594 Україна, МПК G01C/04, №u20041008302, опубл. 16.05.2005. Бюл. №6, 4 с.
6. <http://www.demetra5.kiev.ua/ua/catalog/HYPACK/DREDGEPAK/2?search=>
7. Гідростатичний нівелір. Пат. 149944 Україна. МПК G01C05/00 №u202104326, опубл. 15.12.2021. Бюл. №50, 4 с.

### REFERENCES

1. DBN V.1.3-2 Neodezychni roboty v budivnytstvi. K.: Minrehionbud Ukrainy. 2010. 70 s.
2. S. P. Voitenko. Neodezychni roboty v budivnytstvi. Navch. posibnyk. K.: ISDO, 1993. 144 s.
3. O. M. Livinskyi ta in. Kontrol yakosti budivelno-montazhnykh robot. K.: «MP Lesia». 2018. 776 s.
4. H. S. Ratushnyak, O. D. Pankevych, Yu. S. Biks, T. Yu. Vovk. Neodezychne zabezpechennia budivnytstva. Chastyna 2. Navch. posibnyk. Vinnytsia: VNTU, 2014. 99 s.
5. Volokonno-optychnyi rivnemir hidrostatychnoho nivelira. Pat. 6594 Ukraina, MPK G01C/04, №u20041008302, opubl. 16.05.2005. Biul. №6, 4 s.
6. <http://www.demetra5.kiev.ua/ua/catalog/HYPACK/DREDGEPAK/2?search=>
7. Hidrostatychnyi nivelir. Pat. 149944 Ukraina. MPK G01C05/00 №u202104326, opubl. 15.12.2021. Biul. №50, 4 s.

**Ратушняк Георгій Сергійович** – к.т.н., професор, завідувач кафедри Інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, e-mail: [ratusnag@gmail.com](mailto:ratusnag@gmail.com), ORCID 0000-0001-9656-5150

**Лялюк Андрій Олександрович** – аспірант, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [1b16b.lyalyuk@gmail.com](mailto:1b16b.lyalyuk@gmail.com), ORCID-0000-0002-4803-1629.

**G. Ratushnyak**  
**A. Lyalyuk**

## GEODESIC CONTROL BY HYDROSTATIC LEVELING OF THE QUALITY OF CONSTRUCTION AND ASSEMBLY WORKS

Vinnytsia National Technical University

*According to the results of the research analysis, the existing hydrostatic levels used in construction for high-precision assembly of elements of buildings and structures, engineering networks and technological equipment have been characterized. Their design features, advantages and disadvantages, accuracy of measurement of excesses are determined. The design of a hydrostatic leveler is proposed for determining significant amounts of excesses exceeding the height of interconnected vessels. The device contains basic and non-basic vessels filled with working fluid and hydraulically connected to each other by a flexible pipeline. A spring-loaded float is placed in the non-basic vessel, rigidly connected to the rod, which can freely move vertically. Vessels are equipped with heel pads to install them at the points between which the excess is determined. Scales for taking readings are applied to the dishes connected to each other. The formula for determining significant excesses is given, taking into account the correction for the amount of compensation of excess pressure of the working fluid, taking into account the force perceived by the damping devices. A refined formula is proposed for determining the mean square error of determining the excess by hydrostatic leveling, taking into account the error due to the inaccuracy of compensation of the excess pressure of the working fluid, taking into account the pressure damping force.*

**Keywords:** geodetic work, hydrostatic level, determination of excesses, quality control, accuracy of measurements, mean square error.

**Ratushnyak Georgy Sergeevich** – Ph.D., Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction of Vinnytsia National Technical University, e-mail: [ratusnag@gmail.com](mailto:ratusnag@gmail.com), ORCID 0000-0001-9656-5150

**Lyalyuk Andriy Oleksandrovych** – post-graduate student, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [1b16b.lyalyuk@gmail.com](mailto:1b16b.lyalyuk@gmail.com), ORCID-0000-0002-4803-1629.