

УДК 531.712

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА ВИМІРЮВАННЯ ВІДАЛЕЙ НА ЕТАЛОННОМУ ГЕОДЕЗИЧНОМУ БАЗИСІ 2-ГО РОЗРЯДУ****І. Рій, к. е. н.**

ORCIDID: 0000-0003-0281-6081

**О. Бочко, к. е. н.**

ORCIDID: 0000-0001-8297-2783

*Львівський національний університет природокористування*<https://doi.org/10.31734/architecture2022.23.148>**Рій І., Бочко О. Дослідження впливу дестабілізуючих факторів на вимірювання віддалей на еталонному геодезичному базисі 2-го розряду**

Розглядається дослідження впливу дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища на процес вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону. Проведено дослідження метеорологічних умов на геодезичному полігоні ЛНУП. Здійснено перевірку значущості дестабілізуючих факторів для загальної похибки вимірювання під час метрологічного контролю віддалемірної частини тахеометрів на еталонному лінійному базисі 2-го розряду Львівського національного університету природокористування. Результати досліджень можуть бути використані для оцінки значення випадкової складової похибки під час метрологічного контролю віддалемірних приладів на геодезичному полігоні.

Одним із найефективніших методів всебічного дослідження зазначеної вимірювальної техніки є еталонування її на стаціонарних взірцевих базисах. В основу метрологічної атестації віддалемірів покладені нормативні документи, згідно з якими метрологічна перевірка приладів здійснюється на взірцевих лінійних базисах 2-го розряду, точність яких –  $1,5 \cdot 10^{-6}$ .

Базисний лінійний геодезичний полігон – це еталон, який слугує для забезпечення єдності лінійних вимірювань у геодезичних мережах, передачі одиниці фізичної величини довжини – метра – від еталона робочим приладам: світловіддалемірам, електронним тахеометрам та іншим приладам геодезичного призначення для вимірювання довжин. Такий полігон також може бути застосований для перевірки приладів супутникового зв'язку.

Враховуючи зростання точності сучасних геодезичних приладів, необхідно забезпечити, щоб точність еталонних лінійних базисів була вищою щонайменше втричі порівняно із засобами вимірювальної техніки, які тестують. Для еталонування геодезичних приладів необхідно знати з високою точністю віддалі між пунктами базису та відстежувати їх можливі зміни з часом унаслідок погодних та інших процесів.

Тому питання дослідження стабільності центрів пунктів взірцевих базисів, які протягом певного часу виконують на місцевості метрологічну функцію збереження одиниці довжини, має важливе значення.

Розглядається дослідження впливу дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища на процес вимірювання віддалей геодезичного базису. Результати досліджень можуть бути використані для оцінки значення випадкової складової похибки під час метрологічного контролю віддалемірних приладів на взірцевому базисі.

**Ключові слова:** еталонний базис, тахеометр, світловіддалемір, похибка, дестабілізуючі фактори, метрологічний контроль, точність.

**Rii I., Bochko O. Research on the influence of destabilizing factors on measuring distances on a standard calibration baseline of the 2<sup>nd</sup> category**

The research on the influence of environment destabilizing factors on the process of measuring standard calibration baseline distances of the geodetic testing field is considered. The authors have carried out an investigation of meteorological conditions at the geodetic testing field of Lviv National Environmental University. The significance of destabilizing factors for the total measurement error during the metrological control of the distance measuring part of total station theodolites on the standard calibration baseline of the 2nd category of Lviv National Environmental University is checked. The research results can be used to estimate the value of the random component error during metrological control of distance measuring devices in the geodetic testing field.

One of the most effective methods of comprehensive research of the specified measuring technique is its calibration on stationary sample baselines. The metrological certification of rangefinder telemeters is based on regulatory documents, according to which the metrological verification of devices is carried out on the model linear baselines of the 2nd category, the accuracy of which is  $1.5 \cdot 10^{-6}$ .

The basic linear geodetic testing field is a standard for ensuring the unity of linear measurements in geodetic networks, the transfer of a unit of physical value of length – a meter from the standard to working devices: light

rangefinder telemeters, electronic total station theodolites and other geodetic devices for measuring distances. Such testing field can also be used to test satellite communication devices.

Considering the increasing accuracy of modern geodetic instruments, it is necessary to ensure that the accuracy of standard calibration linear baselines is at least three times better than the one of the measuring equipment being tested. For the calibration of geodetic instruments, one needs to be aware of high accuracy of the distance between the baseline points and track their possible changes over time due to the weather and other conditions.

Therefore, the issue of researching stability of the centers of points of the model baselines, which perform the metrological function of preserving a unit of distance in the area during a certain time, is of great importance.

The issue of the influence of destabilizing factors of environment on the process of measuring geodetic baseline distances is being considered. The research results can be applied to estimate the magnitude of the random component error during metrological control of distance measuring devices on a sample baseline.

**Key words:** standard calibration baseline, total station theodolite, light rangefinder, error, destabilizing factors, metrological control, accuracy.

**Постановка проблеми.** Електронні тахеометри, електронні теодоліти, радіо- та світловіддалеміри, GPS-системи та інші вимірювальні прилади як у наукових дослідженнях, так і в практиці виробничих лінійних вимірювань потребують їхньої попередньої метрологічної атестації.

Враховуючи зростання точності сучасних електронних геодезичних приладів, необхідно забезпечити, щоб точність еталонних лінійних базисів була вищою щонайменше втричі порівняно із засобами вимірювальної техніки, які тестують. Для еталонування геодезичних приладів необхідно знати з високою точністю віддалі між пунктами базису та відстежувати їх можливі зміни з часом унаслідок погодних та інших процесів.

Суть метрологічного контролю віддалемірних приладів, зокрема віддалемірної частини тахеометрів, полягає у вимірюванні еталонних лінійних базисних віддалей геодезичного полігону. Методика забороняє проводити вимірювання за поганих погодних умов: сніг, дощ, сильний вітер, туман, яскраве сонце. За сприятливої погоди попередньо виміряні значення температури та тиску необхідно ввести в пам'ять тахеометра, поправки у виміряні віддалі прилад враховуватиме автоматично.

Для дослідження впливу дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища необхідно провести перевірку їх значущості для загальної похибки вимірювання еталонних базисних віддалей геодезичного полігону в реальних умовах. Дослідження впливу цих факторів на вимірювальний процес необхідно провести за граничних значень зміни метеопараметрів.

Тому дуже важливим науково-прикладним завданням є створення умов для проведення якісного метрологічного контролю сучасних геодезичних приладів, що експлуатуються вітчизняними підприємствами і організаціями. Тахеометри є найбільш поширені на геодезичному ринку завдяки своїй багатofункціональності. Їх швидкий

розвиток та вдосконалення, зростаючий попит на використання для високоточних вимірювань обмежуються низкою проблем метрологічного забезпечення.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Базисний лінійний геодезичний полігон – це еталон, який слугує для забезпечення єдності лінійних вимірювань у геодезичних мережах, передачі одиниці фізичної величини довжини – метра – від еталона робочим приладам: світловіддалемірам, електронним тахеометрам та іншим приладам геодезичного призначення для вимірювання довжин [3].

В Україні подібні полігони функціонують у Києві, Харкові, Вінниці, Миколаєві, Одесі, в Івано-Франківській, Тернопільській та Львівській областях [1–6]. Але в масштабі України це є недостатньо. Необхідність метрологічного контролю світловіддалемірів пов'язана зі зміною з часом постійної поправки приладу. А якість метрологічного контролю істотно залежить і від кількості еталонних базисів у країні. Враховуючи сучасні масштаби геодезичних робіт, в Україні доцільно мати не менше ніж 1–2 базиси 2-го розряду на область [5].

Наразі в Україні спостерігається дефіцит лабораторій, які можуть запропонувати послуги з метрологічного контролю тахеометрів, і насамперед через відсутність еталонних лінійних базисів геодезичних полігонів. Розміщення полігонів не завжди технічно можливе, оскільки пов'язане зі специфічними вимогами щодо їх розміщення, будівництва та використання. Створення таких полігонів у регіонах допоможе розв'язати задачу метрологічного забезпечення геодезичних робіт в Україні.

**Постановка завдання.** Наше завдання – дослідити значущість впливу дестабілізуючих факторів навколишнього середовища на загальну

похибку вимірювання віддалей геодезичного базису в реальних умовах.

**Виклад основного матеріалу.** У 2009 р. було побудовано взірцевий базис 2-го розряду на базі навчального геодезичного полігону кафедри геодезії і геоінформатики Львівського національного університету природокористування, що розташований у м. Дублянах Львівської області (рис. 1).

Еталонний геодезичний базис повинен відповідати певним вимогам. Місцевість розміщення базису має бути відкритою, з розвиненими під'їздами, з достатньою висотою променя над підстилаючою поверхнею. Конструкція базису повинна бути оптимальною, а стабільність його інтервалів – високою.

Розташований лінійний базис під деревами, що перешкоджає прямому потраплянню сонячних променів на базис і безпосередньо на прилад. Це дає можливість проведення більш точних експериментів і вимірювань на лінійному базисі.

Також у побудові лінійного базису була використана технологія термоізоляції, для того щоб температурні умови мали якнайменший вплив на проведення вимірів, а саме зміння довжин між центрами знаків взірцевого базису.

Тахеометру потрібен час витримки для перевірки його роботи в певних умовах навколишнього середовища. Тому різні методики перевірки, які пропонуються виробниками тахеометрів, установлюють час витримки тахеометра на робочому місці від 1 до 2 годин перед безпосереднім її проведенням. З урахуванням часу, який потрібен на проведення вимірювань довжин базису полігону, тривалість перевірки віддалемірної частини тахеометра може сягати до 3 годин.

Тахеометр використовує для вимірювання віддалей лазерний промінь, але швидкість його розповсюдження залежить від показника заломлення світла в атмосфері. Він, своєю чергою, залежить від зміни температури, тиску та вологості навколишнього середовища, в якому проводяться вимірювання.



Рис. 1. Еталонний геодезичний базис 2-го розряду в Дублянах

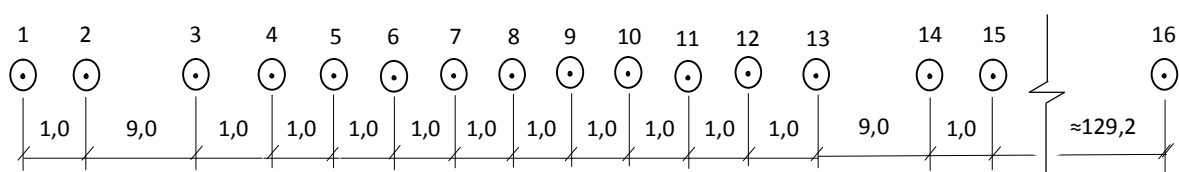


Рис. 2. Схема розташування трубчастих знаків базису

Для досягнення максимальної точності вимірювань віддалі виробники тахеометрів пропонують використовувати середні значення атмосферних параметрів навколо лінії – шляху розповсюдження лазерного випромінювання. Також існують деякі застереження у використанні тахеометрів, а саме: уникнення роботи тахеометром при інтенсивному випромінюванні, що здійснюється сонячним світлом (наприклад, опівдні влітку), уникнення поривів вітру, опадів. Усі ці фактори можуть вносити додаткові похибки в результат вимірювання.

Якщо в тахеометр не вводилися метеодані і значення поправок тахеометра, тоді виміряна віддаль буде віднесена до стандартних метеоумов, прийнятих під час виробництва тахеометра, і не відповідатиме істинному значенню. На першій стадії обробки у виміряні значення вводять поправки, які враховують систематичні похибки тахеометра, поправки на вплив зовнішніх умов та поправки щодо приведення ліній до центрів пунктів і таким чином отримують нахилені віддалі. Після введення поправки, що враховує нахил лінії, отримують горизонтальну віддаль, яку в разі необхідності може бути зредуковано на площину в проекції Гаусса-Крюгера або на поверхню відносності (референц-еліпсоїд). Зазвичай лінійні бази полігонів являють собою пряму довжиною до 1,5 км на рівнині, що робить вплив похибки, яка враховує кривизну Землі, такою, якою можна знехтувати.

Існують стандартні алгоритми врахування впливу атмосферних умов на результати віддалемірних вимірювань. Оскільки блок тахеометра, що відповідає за вимірювання віддалей, по суті, являє собою класичний світловіддалемір, тому розглянемо алгоритм врахування впливу атмосферних умов під час вимірювання світловіддалеміром.

Найчастіше використовують тахеометри з допустимими середньоквадратичними похибками вимірювання одним прийомом горизонтальних та вертикальних кутів до  $6''$  та віддалей  $2+2 \text{ ppm}$ . Вираз латинською «*Pars per milion*» (*ppm*) перекладається як «одна частина мільйона». Допустима середня квадратична похибка вимірювання відстані становить  $2+2 \cdot 10^{-6} D$ , де  $D$  – віддаль, мм.

Унаслідок проведення певних розрахунків отримано, що похибка вимірювання температури повітря й атмосферного тиску впливає на результат вимірювання віддалей, що становить  $1 \text{ ppm}$ ,  $1 \cdot 10^{-6} D$ , мм, при зміні температури повітря на  $1^\circ$ , тиску – на 2,5 мм рт. ст.

На коротких віддальх вплив вологості дуже незначний, його необхідно враховувати в дуже теплих і вологих умовах за вимірювання великих віддалей.

Для тахеометрів Sokkia серії SET 600 необхідно використовувати таку формулу розрахунку поправки, що враховує вологість, якщо значення вологості вводиться в тахеометр із значенням температури та тиску:

$$ppm = 282,59 - \left[ \frac{0,2942 \cdot p}{1 + 0,003661 \cdot t} - \frac{0,0416 \cdot e}{1 + 0,003661 \cdot t} \cdot 10^{-6} \right] \quad (1)$$

де  $p$  – атмосферний тиск, мбар;  $t$  – температура повітря,  $^\circ\text{C}$ ;  $e$  – парціальний тиск водяної пари, гПа;

$$e = h \cdot \frac{ew}{100} ; \quad (2)$$

$$ew = 6,11 \cdot 10^{\frac{7,5t}{t+237,3}} , \quad (3)$$

де  $h$  – відносна вологість, %;  $ew$  – тиск насиченої водяної пари.

Для оцінки впливу метеоумов на проведення перевірки віддалемірної частини тахеометра на навчальному геодезичному полігоні були проведені дослідження метеорологічних умов протягом 25 робочих днів у робочий час. Дослідження проводили з 22.03.2022 р. до 22.04.2022 р. засобами вимірювальної техніки, що успішно пройшли періодичну перевірку (тахеометр Sokkia SET 630R, відбивачі, барометр анероїд M67 № 6, психрометр № 19363).

Критеріями оцінки були такі параметри: час контролю метеопараметрів (тричі в робочий час); відносна вологість на висоті 2 м над поверхнею землі, %; атмосферний тиск, приведений до середнього рівня моря, мм рт. ст.; швидкість вітру, усереднена за 10-хвилинний період, що безпосередньо передував терміну спостереження, м/с; температура повітря на висоті 2 м над поверхнею землі,  $^\circ\text{C}$ ; наявність опадів; хмарність, %; кількість опадів та стан ґрунту.

Дослідження показали, що з 25 робочих днів:

- за своїми метеоумовами повністю підходять для проведення вимірювань 7 днів,
- підходять для проведення вимірювань тільки в одній з фаз робочого дня 4 дні,
- протягом однієї фази не бажано проводити вимірювання, а інша не підходить для проведення вимірювань взагалі – 5 днів,
- повністю не підходять для проведення вимірювань 9 днів.

Отже, протягом 14 повних робочих днів та 4 неповних неможливо проводити вимірювання на полігоні, що, своєю чергою, становить 64 % зі 100 % робочого часу. Робочий час на полігоні: 64 % – непридатні умови роботи, 36 % – придатні.

Зміни температури, тиску та вологості впродовж робочих днів, що за своїми метеоумовами підходять для проведення перевірки віддалемірної частини тахеометра, наведені в табл. 1 та на рис. 3.

Таблиця 1

### Максимальні зміни метеоумов протягом 3 годин упродовж періоду спостережень

Дата проведення спостережень	22.03.2022	23.03.2022	30.03.2022 з 12:00 до 18:00	30.03.2022 з 12:00 до 18:00	01.04.2022	08.04.2022 з 12:30 до 18:30	12.04.2022	13.04.2022	16.04.2022	19.04.2022	22.04.2022
Максимальна зміна температури протягом 3 годин, °С	3,4	3,3	0,1	0,1	0,8	0,1	3,5	5,3	5,5	3,3	1,4
Максимальна зміна тиску протягом 3 годин, мм рт. ст.	0,6	1,6	0,8	0,3	0,6	1	0,8	1,5	1,4	1,9	0,6
Максимальна зміна вологості протягом 3 годин, %	9	21	8	6	4	9	26	9	20	15	10
Максимальна швидкість вітру, усереднена за 10-хвилинний період, що передував терміну спостереження, м/с	5	9	5	6	4	5	10	3	4	6	2

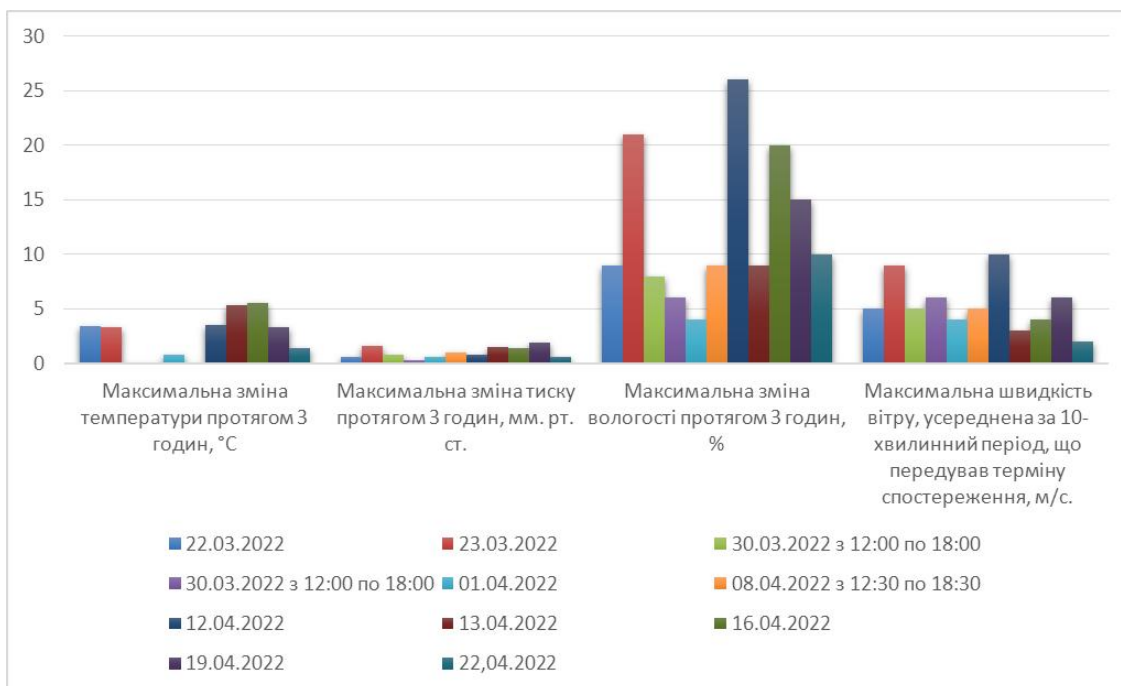


Рис. 3. Діаграма максимальних змін метеоумов протягом 3 годин упродовж періоду спостережень

Необхідно зазначити, що найбільші зміни температури навколишнього середовища припадають на першу половину дня, що влітку суттєво ускладнює проведення перевірки в ранкові години. Але, з іншого боку, проведення перевірки влітку впродовж дня неможливе внаслідок впливу сонячного випромінювання та дії явища рефракції.

Поправку на метеоумови в тахеометр вносять перед безпосереднім виконанням вимірювань. Як уже зазначалося, вимірювання базисних віддалей полігону одним тахеометром проводять приблизно протягом 1 години.

З отриманих даних виберемо найбільші та найменші значення зміни метеопараметрів упродовж години вимірювань при перевірці віддалемірної частини тахеометра (табл. 2, рис. 4).

Визначимо вплив найменших і найбільших змін  $t_{змін}$  метеопараметрів на результат вимірювання

(табл. 3, рис. 5). Як вказано вище, зміна температури навколишнього повітря на  $1^{\circ}\text{C}$  призводить до похибки вимірювання віддалей в  $1\text{ ppm}$ . Розрахуємо найбільші на найменші внески випадкової складової похибки за зміни температури  $\Delta t_{змін}$  при вимірюванні лінії довжиною в  $1\text{ км}$ :

$$\Delta_{t_{змін}} = \frac{t_{змін} \cdot 1\text{ ppm}}{1^{\circ}\text{C}};$$

$$\Delta_{p_{змін}} = \frac{p_{змін} \cdot 1\text{ ppm}}{2,5\text{ ммрт.ст.}}.$$

Унаслідок відсутності за час досліджень поєднання двох метеоумов: спеки і високої вологості, а також через порівняно невеликі значення зміни вологості під час вимірювання, на підставі рекомендацій виробників тахеометрів впливом похибки  $\Delta h_{змін}$ , що виникає при неврахуванні поправки на відносну вологість повітря, можна знехтувати, як мізерно малою.

Таблиця 2

**Максимальні зміни метеоумов під час вимірювань**

Метеорологічний параметр	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Тиск, мм рт. ст.	Вологість, %
Найменше значення зміни за 1 год	0,03	0,10	1,33
Найбільше значення зміни за 1 год	1,83	0,63	8,67

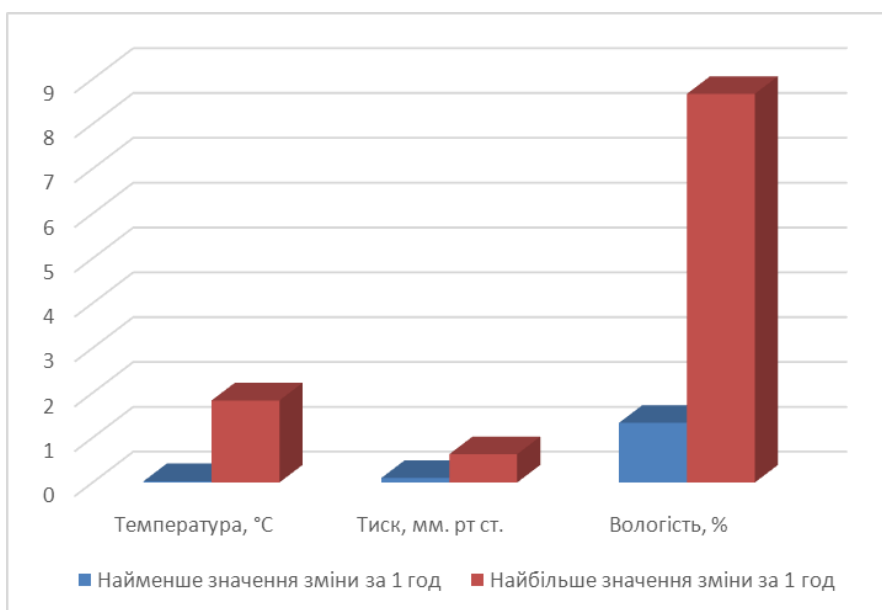


Рис. 4. Діаграма максимальних змін метеоумов під час вимірювань

Таблиця 3

**Найбільші та найменші внески випадкової складової похибки відповідно до змін метеопараметрів**

Метеорологічний параметр	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Тиск, мм рт. ст.
Найменший вплив на 1 км, мм	0,03	0,04
Найбільший вплив на 1 км, мм	1,83	0,25

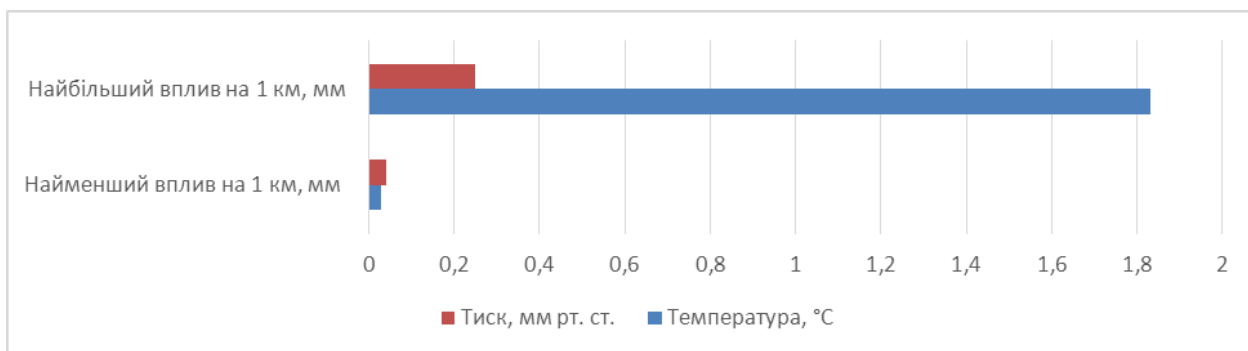


Рис. 5. Діаграма найбільших та найменших внесків випадкової складової похибки відповідно до змін метеопараметрів

Аналізуючи дані спостережень, можна зробити висновок, що протягом 14 повних та 4 неповних днів із 25 робочих неможливо проводити вимірювання на полігоні, це становить 64 % робочого часу.

Розраховані найбільші та найменші внески випадкової похибки за реальних змін температури та тиску при вимірюванні на навчальному геодезичному полігоні.

**Висновки.** На науковому геодезичному полігоні ЛНУП створено багатофункціональний еталонний лінійний геодезичний базис для метрологічної атестації сучасних і традиційних геодезичних приладів та високоточних експериментальних досліджень. Еталонний базис є метрологічним об'єктом, на якому систематично проводиться метрологічна атестація і перевірка лінійних геодезичних приладів.

Аналізуючи спостереження, зазначимо, що протягом 14 повних та 4 неповних днів з 25 робочих неможливо проводити вимірювання на полігоні, а це становить 64 % робочого часу. Розраховані найбільші та найменші внески випадкової похибки за реальних змін температури та тиску

при вимірюванні на навчальному геодезичному полігоні.

#### Бібліографічний список

1. Ващенко В., Перій С., Смірнов Є. Про створення лінійного базису. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2011. № 13. С. 240–246.
2. Літинський В. О., Віват А. Й., Рій І. Ф. Пристрій для лінійних вимірювань геодезичних взірцевих базисів 2-го розряду. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Географія. Землеустрій. Природокористування*. 2014. Вип. 3. С. 19–22.
3. Подостроець К. О. Дослідження впливу дестабілізуючих факторів на вимірювання базисних відстаней геодезичного полігону. *Вісник НТУ «ХТІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2017. № 19 (1241). С. 103–107.
4. Тревого І. С. Взірцеві базиси для еталонування світловіддалемірів. *Вісник геодезії та картографії*. 1995. № 1. С. 39–45.
5. Тревого І., Цюпак І., Гегер В. Еталонний геодезичний базис: аналіз результатів і нова атестація. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2011. Вип. 1. С. 65–68.
6. Тревого І. С., Цюпак І. М. Особливості метрологічної атестації еталонних геодезичних базисів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2014. Вип. 1. С. 29–33.

Стаття надійшла 17.07.2022