

УДК 528.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-3(21)-310-318

Анатолій Віват, Юрій Кордуба, Сергій Петров

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЗМІНУ РОЗМІРУ
КОНТРОЛЬНИХ ЛІНІЙОК ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНДИКАТОРА
ГОДИННИКОВОГО ТИПУ**

Актуальність теми дослідження. Вимірювання малих переміщень є важливим завданням інженерної геодезії. Виміри з похибкою діапазону 0,001–0,1 мм називають технічними. Для виконання таких вимірювань розробляють спеціальне обладнання та методики роботи на ньому. Контрольні лінійки та взірцеві міри використовують для метрологічної повірки обладнання. Найбільше на зміну розміру виробу впливає температура. Розробка методів для високоточної фіксації малих переміщень від зміни температури є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Виміряти мале переміщення з високою точністю дуже складно. Для цього використовують інтерферометри. Запропонувати новий високоточний метод вимірювання малих переміщень. Дослідити можливість використання пропонованого методу для визначення лінійного розширення контрольних лінійок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянуто публікації у відкритому доступі щодо лінійного розширення матеріалу, приладів та методів фіксації малих переміщень.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Використання індикаторів годинникового типу замість інтерферометрів. Дослідження зміни розміру контрольних лінійок у разі зміни температури. Перевірка формул температурного лінійного розширення для конкретного досліджуваного взірця.

Мета статті. Дослідити зміну довжини контрольних лінійок від температури з використанням індикаторів годинникового типу.

Виклад основного матеріалу. Використання індикаторів годинникового типу дає змогу відслідковувати зміну розміру контрольних лінійок у разі зміни температури і, у свою чергу, дає можливість перевірки формули температурного лінійного розширення для конкретного досліджуваного взірця, а не тільки фіксувати розмір. Також нами встановлено, що швидка зміна температури, більше ніж на 1,5⁰ до десяти хвилин, викликає нелінійну зміну довжини досліджуваних взірців. Цей факт необхідно враховувати під час вимірювань контрольними лінійками в польових умовах при різких перепадах температури. Обчислені коефіцієнти кореляції зміни розміру від температури та зміни розміру в часі під впливом температури. Для контролю одержаних результатів було визначено зміну довжини контрольних лінійок з використанням лазерного інтерферометра. Зі зміною температури у 8,5⁰ С контрольний метр змінив свій розмір на 0,18 та 0,16 мм (відповідно лазерний інтерферометр і індикатор годинникового типу).

Висновки відповідно до статті. Запропоновано методику визначення малих переміщень використовуючи індикатор годинникового типу. Встановлено коефіцієнти кореляції зміни величини в часі під впливом зміни температури. Уточнено коефіцієнти лінійного розширення для латуні та сталі. Практична цінність проведених досліджень у тому, що запропонована методика дозволяє проводити метрологічну перевірку (позачергову, біжучу) еталонів довжини без застосування класичних еталонів таких, як лазерні інтерферометри.

Ключові слова: еталони; високоточні вимірювання, контрольна лінійка; індикатор годинникового типу; зміна температури, зміна розміру.

Рис.: 5. Табл.: 8. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Від своєчасного та правильного вирішення питання метрологічного забезпечення геодезичних приладів значною мірою залежить якість виконання геодезичних робіт для різноманітних сфер господарства (геодезія, будівництво, землеустрій, військова справа та інше). Метрологічні перевірки приладів для виміру геометричних величин (довжин ліній) проводяться згідно з методикою на спеціалізованому обладнанні та відповідними організаціями, які акредитовані на право проведення таких робіт. Процедура метрологічної перевірки полягає в передачі розміру від одного до іншого засобу вимірювання (від вищого в ієрархії еталонної бази до нижчого) [1].

У цій ієрархічній базі досліджувані контрольні лінійки є штриховими зразковими мірами III та IV типу, які служать для передачі розміру від робочих еталонів до засобів вимірювальної техніки (нівелірні рейки, металеві лінійки, польові лінійні базиси). Відповідно до періодичності проведення метрологічних перевірок виділяють чергову, позачергову, біжучу перевірку. Чергову метрологічну перевірку проводять з періодичністю раз в 2 роки шляхом визначення її довжини з використанням лазерного інтерферометра.

Постановка проблеми. У випадку проведення позачергових чи біжучих перевірок контрольного метра недоцільно використання лазерних інтерферометрів (час проведення, вартість послуги та інше). Тому, на нашу думку, у таких випадках існує можливість визначити зміну його довжини з використанням індикатора годинникового типу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як було зазначено вище, контрольна лінійка та взірцеві міри застосовують для метрологічних перевірок різноманітних геодезичних приладів та спеціалізованого обладнання. Також у [2-4] однометрові та десятиметрові інтервали фазової ділянки базису другого розряду виміряли контрольним метром із похибкою менше 0,1 та 0,3 мм відповідно. Контрольні метри використовують для компарування нівелірних рейок [5]. Також у роботах [6; 7] показано необхідність прямих вимірювань та досліджено методики високоточних вимірювань в інженерній геодезії. У роботі [8] розроблено сферичний відбивач та відбивач-вектор для високоточних технічних вимірювань у промисловості, де є значна зміна температури. Розробка сучасними фірмами [9, 10] обладнання для прямих вимірювань типу «контрольний метр» підтверджує актуальність таких досліджень.

Виділяють лінійне α та об'ємне β розширення розмірів твердого тіла при зміні температури. Нами досліджено лінійне розширення. Значення лінійного коефіцієнта температурного розширення обчислюється формулою [11]

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta t), \tag{1}$$

де l_0 – розмір твердого тіла до нагрівання; l – розмір твердого тіла після нагрівання; Δt – різниця температури.

У табл. 1 наведено розрахунок зміни розмірів матеріалу від зміни температури, з якого виготовляють робочі еталони довжин згідно коефіцієнтів лінійного розширення.

Таблиця 1

Зміна довжини однометрового відрізка від зміни температури.

Матеріал Δl , мм	$\alpha \cdot 10^{-6} / ^\circ C$	Зміна температури Δt , $^\circ C$			
		1	5	10	20
Інвар	1,5	0,002	0,01	0,02	0,03
Латунь	19	0,02	0,10	0,19	0,38
Алюміній	23	0,02	0,12	0,23	0,46
Сталь	11	0,01	0,06	0,11	0,22

Графічно теоретично розраховану зміну довжини однометрового відрізка (Δl), виготовленого з того чи іншого матеріалу під впливом зміни температури (Δt), наведено на рис. 1.

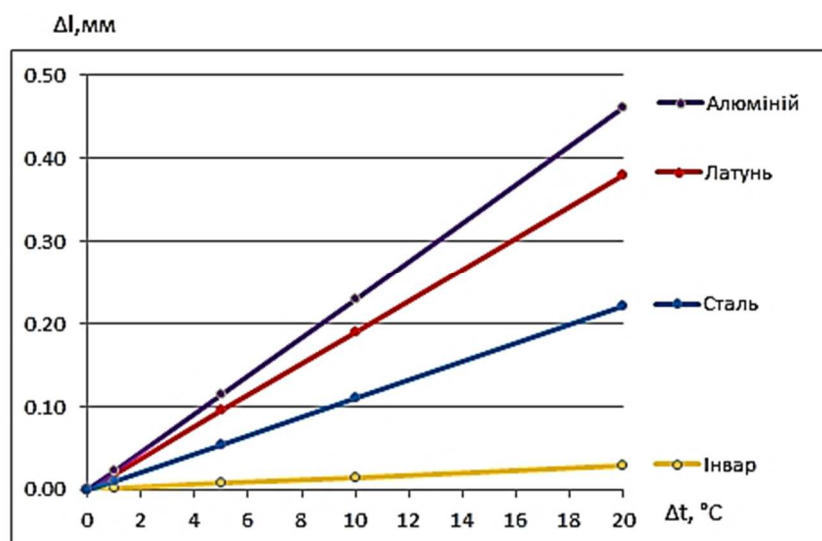


Рис. 1. Зміна довжини метрової лінійки від зміни температури

Оскільки контрольний метр виготовлено з латуні, то зміна температури на один градус теоретично повинна змінити його розмір приблизно на 0,02 мм. Тому для проведення метрологічних перевірок контрольних метрів як штрихових зразкових мір III та IV типу використовують лазерні інтерферометри. Необхідно зазначити, що лазерні інтерферометри як еталони довжини в Україні розташовані в Києві та Харкові. В інституті геодезії НУ «Львівська політехніка» встановлено лазерний інтерферометр ПІ-1 з лінійною частиною довжиною 20 метрів. Середньо квадратична похибка визначення зміни довжини інтерферометром становить 1 мкм/1 м. Фіксацію відліку виконують за допомогою оптичного мікроскопу, який закріплено на каретці. Вона, у свою чергу, пересувається по напрямним, які забезпечують відхилення лазерного променя не більше ніж 1,5 мм на всій довжині лінійної частини.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. До недосліджених проблем, які планується нами вирішити, можна віднести дослідження лінійної зміни розміру контрольних лінійок при зміні температури, перевірка формул температурного лінійного розширення для конкретного досліджуваного зірця, а також дослідження точності при використанні індикаторів годинникового типу замість інтерферометрів.

Мета статті. Дослідити зміну довжини контрольних лінійок від температури з використанням індикатора годинникового типу (точність відлічування взяття відліку 0,01 мм).

Виклад основного матеріалу. Як досліджувані зразки вибрано контрольний метр та дві кінцеві міри (рис. 2), де 1 – півметрова кінцева міра III типу зі сталі, 2 – метрова кінцева міра III типу зі сталі, 3 – метровий контрольний метр IV типу з латуні. Для підвищення точності визначення температури досліджуваних зразків використано додатковий повірений термометр із двома зовнішніми виносними давачами.



Рис. 2. Досліджувані зразки

Експериментальні дослідження проводили на розробленій нами установці (рис. 3), де один кінець контрольного метра жорстко закріплювали на металевому швелері лінійної частини лазерного інтерферометра ПІ-1, а другий також жорстко, але через індикатор годинникового типу. Важливим є забезпечення стабільності контролюючого параметра для всіх елементів конструкції, крім досліджуваного. Це досягається тим, що лабораторія оснащена автономною системою опалення, яка забезпечує стабільну температуру в межах 15-20 °С. Перед початком проведення експерименту контрольні лінійки та кінцеві міри охолоджували для збільшення діапазону зміни температури. Під час вимірювань температура середовища було 18 °С, тобто близька до нормальної 20 °С. Для дослідження впливу температури на зміну розміру досліджуваних зразків нами виконано п'ять типових експериментів. У кожному з експериментів фіксували значення температури, відлік по індикатору годинникового типу та час відлічування. Експерименти 1-3 полягали в дослідженні зміни довжини контрольного метра з різним інтервалом часу. Експеримент № 4 полягав у дослідженні зміни довжини метрової кінцевої міри, а експеримент № 5 – у дослідженні зміни довжини півметрової кінцевої міри.



Рис. 3. Установка для досліджень

Результати п'ятих експериментів подано в табл. 2–6,
 де τ – часовий момент відліку індикатора годинникового типу;
 t – температура досліджуваного зразка;
 $\Delta\tau$ – різниця часу у відлічуванні індикатора годинникового типу;
 Δt – різниця температури між відліками індикатора годинникового типу;
 Δl – різниця розміру досліджуваного зрізця.

Таблиця 2

Результати вимірювань (експеримент 1)

№	τ , год	t , °C	$\Delta\tau$, год	Δt , °C	Δl , мм
1	13:30	11,0	0:00	0,0	0,00
2	13:55	14,5	0:25	3,5	0,09
3	15:00	17,0	1:30	6,0	0,13

Таблиця 3

Результати вимірювань (експеримент 2)

№	τ , год	t , °C	$\Delta\tau$, год	Δt , °C	Δl , мм
1	12:32	7,5	0:00	0,0	0,00
2	12:41	11,5	0:09	4,0	0,07
3	12:48	13,0	0:16	5,5	0,15
4	12:56	15,0	0:24	7,5	0,18
5	13:14	16,5	0:42	9,0	0,18
6	17:00	17,5	4:28	10,0	0,19

Таблиця 4

Результати вимірювань (експеримент 3)

№	τ , год	t , °C	$\Delta\tau$, год	Δt , °C	Δl , мм
1	13:37	9,5	0:00	0,0	0,0
2	13:41	10,5	0:04	1,0	0,02
3	13:46	12,0	0:09	2,5	0,05
4	13:50	13,0	0:13	3,5	0,08
5	13:53	14,0	0:16	4,5	0,09
6	14:00	15,0	0:23	5,5	0,11
7	14:05	16,0	0:28	6,5	0,12
8	14:18	17,0	0:41	7,5	0,14
9	14:42	17,5	1:05	8,0	0,16
10	16:27	18,0	2:50	8,5	0,16

Таблиця 5

Результати вимірювань (експеримент 4)

№	τ , год	t , °C	$\Delta\tau$, год	Δt , °C	Δl , мм
1	9:22	8,3	0:00	0,0	0,00
2	9:27	10,3	0:05	2,0	0,02
3	9:29	11,3	0:07	3,0	0,03
4	9:31	12,3	0:09	4,0	0,04
5	9:35	13,3	0:13	5,0	0,05
6	9:39	14,3	0:17	6,0	0,05
7	9:44	15,3	0:22	7,0	0,06
8	9:52	16,5	0:30	8,2	0,07
9	9:59	17,3	0:37	9,0	0,08
10	10:35	19,3	1:13	11,0	0,10

Таблиця 6

Результати вимірювань (експеримент 5)

№	τ , год	t , °C	$\Delta\tau$, год	Δt , °C	Δl , мм
1	15:18	4,7	0	0,0	0,00
2	15:19	5,7	0:01	1,0	0,00
3	15:21	7,7	0:03	3,0	0,01
4	15:22	8,7	0:04	4,0	0,01
5	15:26	11,7	0:08	7,0	0,02
6	15:28	12,7	0:10	8,0	0,02
7	15:33	14,7	0:15	10,0	0,03
8	15:44	17,7	0:26	13,0	0,04
9	15:51	18,7	0:33	14,0	0,04
10	16:35	20,8	1:17	16,0	0,05

На рис. 4 подано виміряні значення зміни довжини (Δl) залежно від зміни температури (Δt).

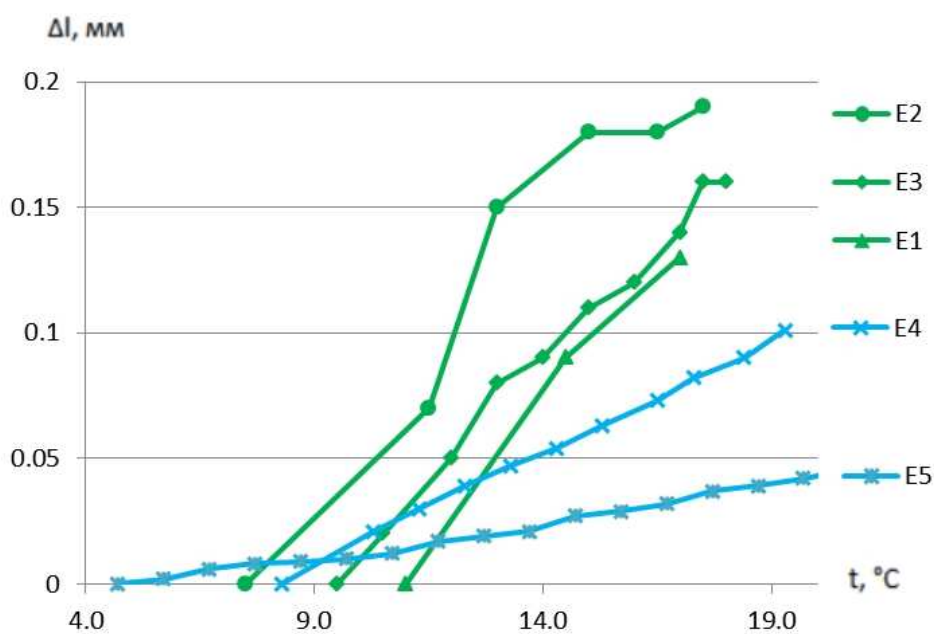


Рис. 4. Зміна розміру досліджуваного взірця від температури. (дані з колонок 3 та 6 таблиць 2–6)

На рис. 5 наведено виміряні нами зміни довжин (Δl) залежно від зміни температури (Δt), приведені до нуля шкали. Також наведено теоретично розраховані за відомими коефіцієнтами лінійного розширення значення зміни довжин залежно від зміни температури.

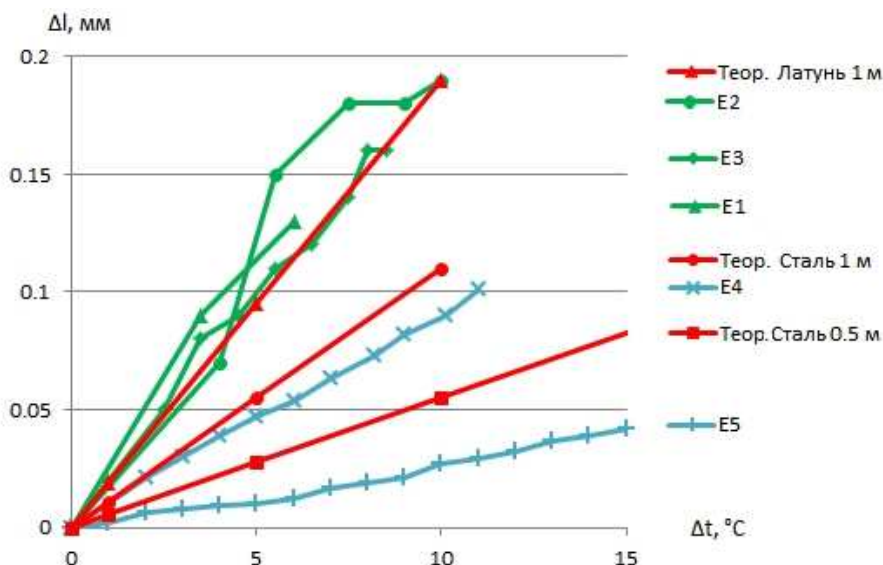


Рис. 5. Зміна розміру досліджуваного взірця від зміни температури (дані з колонок 5 та 6 таблиць 2–6 приведені до нуля)

Експеримент 1 та 2, де як досліджуваний взірець був контрольний метр, виготовлений із латуні, показав нелінійне видовження при різкому зростанні температури (1,5⁰ менше ніж за 10 хвилин). Експеримент 3 із невеликим відхиленням відповідає лінійній залежності видовження. Експеримент 4 та 5 відповідає лінійній залежності, але спостерігається невідповідність коефіцієнту розширення сталі. Нами розраховано коефіцієнти кореляції “r” для підтвердження нелінійної залежності видовження від зростання температури за формулою з [12]. Отримані значення наведені в табл. 7. Розрахунок коефіцієнтів кореляції для другого та третього дослідів виконали без останніх вимірів, оскільки вони виконані із значною затримкою у часі для підтвердження стабілізації розміру при незмінній температурі.

Таблиця 7

Коефіцієнти кореляції зміни видовження (Δl) досліджуваного зразка від зміни температури (Δt)

№	r ($\Delta t, ^\circ\text{C} - \Delta l, \text{мм}$)
r _{E1}	1,00
r _{E2}	0,89
r _{E3}	0,99
r _{E4}	1,00
r _{E5}	1,00

Оскільки коефіцієнти кореляції експерименту 3–5 дорівнюють одиниці, то за даними таблиць 4–6 можна розрахувати коефіцієнт лінійного розширення для кожного досліджуваного взірця. Виразили з формули (1) коефіцієнт лінійного розширення “ α ” (2):

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 \cdot \Delta t} \tag{2}$$

У табл. 8 подано уточнені коефіцієнти лінійного розширення для контрольного метру, виготовленого з латуні, та взірцевої міри, виготовленої зі сталі.

Таблиця 8

*Уточнені коефіцієнти лінійного розширення
для досліджуваних взірців із латуні та сталі*

Матеріал Δl , мм	$\alpha \cdot 10^{-6} / ^\circ C$	С.К.П. $\alpha \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Латунь	20,00	1,30
Сталь	9,46	0,99

Для контролю одержаних результатів було визначено зміну довжин досліджуваних взірців з використанням лазерного інтерферометра. Одержані результати, а саме зміна довжини визначена лазерним інтерферометром і індикатором годинникового типу відрізняються на 0,02 – 0,04 мм, що підтверджує можливість використання індикаторів годинного типу для проведення перевірок контрольних лінійок.

Висновки відповідно до статті. Аналізуючи результати досліджень, можна зробити такі висновки. Використання індикаторів годинникового типу дає змогу відслідковувати зміну розміру контрольних лінійок у разі зміни температури і, у свою чергу, дає можливість перевірки формули температурного лінійного розширення для конкретного досліджуваного взірця, а не тільки фіксувати розмір. Також нами встановлено, що швидка зміна температури, більше ніж на $1,5^0$ до десяти хвилин, викликає нелінійну зміну довжини досліджуваних взірців. Цей факт необхідно враховувати під час вимірювань контролним метром в польових умовах при різких перепадах температури. Простота методики та доступність приладів для перевірки дає змогу проведення таких робіт не тільки у спеціалізованих лабораторіях, але й на виробництві та в закладах освіти для навчальних цілей.

Список використаних джерел

1. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>.
2. Літинський В., Колгунов В., Муха В., Гарасимчук І. Використання Бережанського лінійного базису для дослідження світловіддалемірів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва* : зб. наук. праць. Львів : Ліга-Прес, 2003. С. 175–177.
3. Літинський В., Віват А., Перій С., Літинський С. Спосіб вимірювання Взірцевого базиса 2-го розряду для еталонування електронних тахеометрів. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2015. Вип. 81. С. 59–65.
4. Визначення інтервалів еталонного Бережанського базиса методом фотофіксації / С. Перій та ін. *Науковий вісник Ужгородського університету*. 2014. Вип. 3. С. 93-95.
5. Методика визначення інтервалів нівелірних рейок електронним тахеометром / В. Літинський та ін. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Львів, 2014. С. 34–37.
6. Баран П. І. Інженерна геодезія. Київ : ПАТ «ВІПОЛ», 2012. 618 с.
7. Боровий В., Бурачек В. Високоточні інженерно-геодезичні вимірювання. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. 236 с.
8. Vivat A., Tserklevych A., Smirnova O. A study of devices used for geometric parameter measurement of engineering building construction. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography: inter-institutional scientific & technical collection*. 2018. Vol. 87. Pp. 21-29.
9. Tesa. Tesatechnology. Tesa. URL: <https://tesatechnology.com/en-gb/home/>.
10. Microtech. URL: https://microtech-ua.com/index.php?id_manufacturer=1&controller=manufacturer&id_lang=3.
11. Душенко В. П., Кучерук І. М. Молекулярна фізика і термодинаміка. Київ : Вища школа, 1993. 433 с.
12. Зазуляк П. М., Гавриш В. І., Євсєєва Е. М., Йосипчук М. Д. Основи математичного опрацювання геодезичних вимірювань. Львів : Растр-7, 2007. 408 с.

References

1. Pro metrolohiuu ta metrolohichnu diialnist [On Metrology and Metrological Activity], Law № 1314-VII (June 5, 2014) (Ukraine). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>.
2. Litynskyi, V., Kolhunov, V., Mukha, V., Harasymchuk, I. (2003). Vykorystannia Berezhanskoho liniinoho bazysu dlia doslidzhennia svitloviddalemiriv [The use of Berezhany linear basis for the study of light rangefinders]. In *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and production: collection of Scientific articles* (pp. 175–177). Liga-Press.
3. Litynskyi, V., Vivat, A., Perii, S., Litynskyi, S. (2015). Sposib vymiriuvannia Vzirtsevoho bazysa 2-ho rozriadu dlia etalonusannia elektronnykh takheometriv [Method of measuring the Model basis of the 2nd category for calibration of electronic total stations]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 81, pp. 59-65.
4. Periy, S. et al. (2014). Vyznachennia intervaliv etalonnogo Berezhanskoho bazysa metodom fotofiksatsii [Determination of intervals of the reference Brzezany basis by the method of photofixation]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu Uzhhorod – Scientific Bulletin of Uzhhorod University*, 3, pp. 93-95.
5. Litynskyi, V., Vivat, A., Pokotylo, I., Litynskyi, S., Herasymenko, Ye. (2014). Metodyka vyznachennia intervaliv nivelirnykh reioek elektronnym takheometrom [Methods for determining the intervals of leveling rails with an electronic total station]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and production* (pp. 34-37).
6. Baran, P. I. (2012). *Inzhenerna heodeziia [Engineering Geodesy]*. PAT «VIPOL».
7. Borovy, V., Burachek, V. (2017). *Vysokotochni inzhenerno-heodezychni vymiriuvannia [High-precision engineering and geodetic measurements]*. Nilan Ltd.
8. Vivat, A., Tserklevych, A., Smirnova, O. (2018). A study of devices used for geometric parameter measurement of engineering building construction. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography: inter-institutional scientific & technical collection*, 87, pp. 21-29.
9. Tesa. *Tesatechnology*. <https://tesatechnology.com/en-gb/home/>.
10. Microtech. https://microtech-ua.com/index.php?id_manufacturer=1&controller=manufacturer&id_lang=3.
11. Dushchenko, V. P., Kucheruk, I. M. (1993). *Molekuliarna fizyka i termodynamika [Molecular physics and thermodynamics]*. Vyscha shkola.
12. Zazulyak, P. M., Gavrish, V. I., Evseeva, E. M., Yosypchuk, M. D. (2007). *Osnovy matematychnoho opratsiuvannia heodezychnykh vymiriuvan [Fundamentals of mathematical processing of geodetic measurements]*. Raster-7.

UDC 528.3

Anatolii Vivat, Yurii Korduba, Sergii Petrov

INVESTIGATION OF TEMPERATURE INFLUENCE ON THE CONTROL METER SIZE CHANGE USING THE CLOCK TYPE INDICATOR

Urgency of the research. Measuring small displacements is an important task of engineering geodesy. Measurements with an error in the range 0.001 mm - 0.1 mm are called technical measurements. Special equipment and methods of working on it are developed to perform such measurements. Control lines and sample measures are used for metrological verification of equipment. The temperature has the greatest effect on the change in the size of the equipment. The development of methods for high-precision fixation of small displacements from temperature changes is an urgent task.

Target setting. It is difficult to measure small displacement with high accuracy. Interferometers are used for this purpose. A new high-precision method for measuring small displacements is proposed. Investigate the possibility of using the proposed method to determine the linear extension of the control lines.

Actual scientific researches and issues analysis. Open access publications on linear expansion of material, devices and methods of fixing small movements are considered.

Uninvestigated parts of general matters defining. Use of clock-type indicators instead of interferometers. Research of change of the size of control lines at temperature change. Checking the formulas of thermal linear expansion for a specific test sample.

The research objective. Investigate the change in length of control lines from temperature using clock-type indicators.

The statement of basic materials. The use of clock-type indicators allows to track the change in the size of the control lines when the temperature changes, and in turn allows to check the formula of thermal linear expansion for a particular sample, and not just to fix the size. We also found that a rapid change in temperature, more than 1.50 to ten minutes, causes a

nonlinear change in the length of the studied samples. This fact must be taken into account when measuring with control lines in the field at sharp temperature drops. The correlation coefficients of size change from temperature and size change over time under the influence of temperature are calculated. To control the obtained results, the change in the length of the control lines was determined using a laser interferometer. With a temperature change of 8.50 C, the control meter changed its size by 0.18 mm and 0.16 mm (respectively, laser interferometer and clock-type indicator).

Conclusions. A method for determining small displacements using a clock-type indicator is proposed. The correlation coefficients of the change in time under the influence of temperature change are established. The coefficients of linear expansion for brass and steel are specified. The practical value of the research is that the proposed method allows for metrological verification (extraordinary, running) of standards of length without the use of classical standards such as laser interferometers.

Keywords: standards; high-precision measurements; control line; clock type indicator; temperature change, size change.

Fig.: 5. Table: 8. References: 12.

Віват Анатолій Йосипович – ст. викладач кафедри інженерної геодезії, Національний університет «Львівська політехніка» (вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна).

Vivat Anatolii – Senior Lecturer of Department of Engineering Geodesy, Lviv Polytechnic National University (12 S. Bandery Str., 79013 Lviv, Ukraine).

E-mail: anatolii.y.vivat@lpnu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6114-5911>

Кордуба Юрій Геннадійович – ст. викладач кафедри інженерної геодезії, Національний університет «Львівська політехніка» (вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна).

Korduba Yurii – Senior Lecturer of Department of Engineering Geodesy, Lviv Polytechnic National University (12 S. Bandery Str., 79013 Lviv, Ukraine).

E-mail: yurii.h.korduba@lpnu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6516-1081>

Петров Сергій Леонідович – доцент кафедри інженерної геодезії, Національний університет «Львівська політехніка» (вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна).

Petrov Sergii – Associate Professor of Department of Engineering Geodesy, Lviv Polytechnic National University (12 S. Bandery Str., 79013 Lviv, Ukraine).

E-mail: petrovSL06@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1045-8125>