

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
ТА ЯКОСТІ



ПОДОСТРОЄЦЬ КИРИЛ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 531.7

**СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОГО МЕТОДУ ПОВІРКИ
ГЕОДЕЗИЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

**Спеціальність 05.11.01 – прилади та методи вимірювання
механічних величин**

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса 2017

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Робота виконана в Одеській державній академії технічного регулювання та якості Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Заслужений працівник сфери послуг України
Коломієць Леонід Володимирович
Одеська державна академія технічного регулювання та якості, професор кафедри стандартизації, оцінки відповідності та якості, м. Одеса

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Тихан Мирослав Олексійович
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри приладів точної механіки, м. Львів

доктор технічних наук, професор
Корсун Валерій Іванович
Національний гірничий університет, завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірвальних технологій,
м. Дніпро

Захист відбудеться «01» грудня 2017 року о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.113.01 в Одеській державній академії технічного регулювання та якості за адресою: 65020, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 15, ауд. 616.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської державної академії технічного регулювання та якості за адресою: 65020, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 15.

Автореферат розісланий «31» жовтня 2017 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 41.113.01



О.В. Грабовський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі від оперативного вирішення задач метрологічного забезпечення приладів геодезичного призначення значною мірою залежить як якість самих геодезичних вимірювань в Україні, так і якісні показники розвитку таких сфер: як сільське господарство, землеустрій, будівництво, військова справа, навігаційне забезпечення повітряних та водних суден, виконання геологорозвідувальних робіт та інше.

Як показує світова практика, найбільш поширеними і ефективними геодезичними засобами для вимірювання великих лінійних розмірів є світло-віддалеміри, електронні тахеометри та приймачі супутникового зв'язку GNSS, які виготовляються світовими лідерами геодезичного приладобудування.

Тому дуже важливою науково-прикладною задачею є створення умов для проведення якісного метрологічного контролю сучасних геодезичних приладів, що експлуатуються вітчизняними підприємствами і організаціями.

Тахеометри є найбільш поширеними на геодезичному ринку, завдяки своїй багатофункціональності. Їх швидкий розвиток та вдосконалення, зростаючий попит на використання при високоточних вимірюваннях обмежується низкою проблем метрологічного забезпечення.

Аналіз вітчизняних і закордонних літературних джерел показав, що стан досліджень в галузі розробки методів метрологічного контролю тахеометрів не в достатній мірі відповідає сучасним вимогам з точності вимірювання відстаней в геодезії. Існуючі методи метрологічного контролю віддалемірної частини тахеометрів передбачають використання виключно еталонних лінійних базисів геодезичних полігонів.

Питанням удосконалення конструкцій геодезичних приладів та обладнання для їх контролю присвячені роботи В.Ф. Богданова, О.А. Дмитрущенко, А.В. Ляха, С.І. Назаренко, Ю.М. Нікуліна, Л.П. Радкевич, М.Т. Сидоренко, Т.А. Сторожева, А.М. Тарєєва.

Дослідження вчених А.П. Ворошилова, В.В. Друзюка, М.В. Кузьміна, Ю.М. Кулагіна, В.І. Новікова, А.Б. Рассада, А.І. Спірідонова, І.С. Тревого присвячені питанням метрологічного забезпечення, експлуатації, перевірки геодезичних приладів. В роботах М.С. Виноградова та Ragab Khalil розглянуті питання удосконалення метрологічного контролю віддалемірної техніки шляхом використання альтернативних методів та способів які дозволяють виключити застосування геодезичних полігонів.

Наразі в Україні спостерігається дефіцит лабораторій, які можуть запропонувати послуги з метрологічного контролю тахеометрів і, в першу чергу, з причини відсутності еталонних лінійних базисів геодезичних полігонів. Розміщення полігонів не завжди технічно можливе, оскільки пов'язане зі специфічними вимогами щодо їх розміщення, будівництва та використання.

У зв'язку з цим, розробка нових способів передачі одиниці фізичної величини, від еталону до робочих засобів вимірювальної техніки, нових методів і методик метрологічного контролю характеристик тахеометрів є актуальним науковим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукова робота виконувалась на кафедрі стандартизації, оцінки відповідності та якості Одеської державної академії технічного регулювання та якості (ОДАТРЯ) і пов'язана із реалізацією пріоритетних напрямків Концепції Державної цільової науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2014-2018 роки, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29.12.2010 № 2354-р.

В основу дисертаційної роботи покладені результати, що отримані при виконанні науково-дослідної роботи "Новий метод перевірки і калібрування тахеометрів та світловіддалемірів в межах лабораторії" (державна реєстрація № 0117U003034, ОДАТРЯ, автор - відповідальний виконавець).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка нового методу метрологічного контролю віддалемірної техніки, який дозволить підвищити ефективність заходів, пов'язаних з перевіркою та калібруванням тахеометрів і світловіддалемірів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішати наступні завдання:

- провести аналіз існуючих конструкцій та метрологічного забезпечення приладів геодезичного призначення;
- розробити математичну модель вимірювання під час передачі одиниці фізичної величини - метра від еталону до робочих засобів вимірювальної техніки;
- розробити новий метод метрологічного контролю тахеометрів;
- розробити нормативну документацію для забезпечення простежуваності вимірювання тахеометрами;
- розробити практичні рекомендації щодо оцінювання невизначеності результату вимірювань при виконанні робіт в калібрувальних та вимірювальних лабораторіях, а також в навчальному процесі;
- виконати апробацію методу, оцінку результатів експериментальних досліджень і надати пропозиції з пріоритетних шляхів розвитку метрологічного забезпечення тахеометрів.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання великих лінійних розмірів.

Предмет дослідження – методи метрологічного контролю тахеометрів та способи передачі одиниці фізичної величини – метра від еталону до робочих засобів вимірювальної техніки.

Методи дослідження. Методологічну основу наукових досліджень становить комплексний підхід щодо аналізу вимірювання великих лінійних розмірів за допомогою лазерного випромінювання. Розроблення і обґрунтування запропонованого методу та методик вимірювань проводилися з використанням методів математичного і фізичного моделювання, із застосуванням закону оптичного розповсюдження світла. Планування та опрацювання результатів експериментальних робіт виконувалися із застосуванням методів математичної статистики, а самі експериментальні дослідження проводились з використанням оптичних методів та приладів вимірювання механічних величин.

Наукова новизна одержаних результатів.

За результатами виконання теоретичних і експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-технічна задача удосконалення метрологічного забезпечення геодезичних вимірювань.

Основні наукові результати висунуті на захист, полягають в тому, що:

1. Вперше розроблений метод метрологічного контролю тахеометрів, який на відміну від існуючих об'єднує процедури контролю кутомірної та віддалемірної частини тахеометрів в єдину процедуру і використовує непряму, змодельовану за допомогою оптичної схеми відстань, що дозволяє скоротити витрати на створення, утримання та використання еталону та підвищити точність вимірювань.

2. Вперше отримано математичні залежності, на підставі яких розроблено математичну модель вимірювання під час передачі одиниці фізичної величини - метра від еталону до робочих засобів вимірювальної техніки.

3. Створено нову нормативну документацію з оцінювання невизначеності вимірювань еталонних базисних відстаней під час проведення калібрування світловіддалемірів та віддалемірної частини тахеометрів, яка застосовується в рамках розробленого автором методу, що дозволяє отримувати достовірні результати вимірювань.

4. Вперше досліджено вплив дестабілізуючих факторів, таких як атмосферні умови, на точність вимірювань базисів лінійного геодезичного полігону.

5. Отримав подальший розвиток метод метрологічного контролю тахеометрів, який використовує альтернативний спосіб передачі одиниці фізичної величини довжини - метра від еталону до робочого засобу вимірювань, що дозволяє значно спростити конструкцію еталону.

Новизну отриманих результатів дисертації підтверджено патентами України № 57280 від 25.02.2011 та № 82726 від 12.08.2013.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблено схемно-технічне рішення методу метрологічного контролю тахеометрів, що відрізняється від аналогів, з використанням оптичної схеми дзеркал, автоколімаційної установки, які забезпечують умови проведення метрологічного контролю світловіддалемірів і віддалемірної частини тахеометрів.

- створено експериментальну установку, яка реалізує розроблений метод метрологічного контролю тахеометрів, що об'єднує контроль кутомірної та віддалемірної частини тахеометра в безперервний процес в умовах лабораторії;

- розроблено методику повірки тахеометрів в умовах повірочної (калібрувальної) лабораторії.

Основні положення дисертаційної роботи впроваджені в процедуру метрологічного контролю приладів геодезичного призначення в Державному підприємстві "Одесастандартметрологія" та в навчальний процес Одеської державної академії технічного регулювання та якості (акт від 01.03.2017 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні результати, що викладені у дисертації та авторефераті, отримані автором самостійно. В наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать: [2] – оцінювання невизначеності під час калібрування тахеометрів на геодезичних полігонах; [3, 4] – результати проведених експериментальних досліджень методу метрологічного контролю тахеометрів; [6] – розроблення варіанту реалізації методу метрологічного контролю тахеометрів; [8] – аналіз існуючої і розробка нової нормативної бази для метрологічного контролю тахеометрів; [9] – аналіз еталонної бази для метрологічного контролю тахеометрів; [13] – аналіз проблем застосування базисних лінійних геодезичних полігонів при повірці тахеометрів; [14] – аналіз методик повірки геодезичних засобів вимірювальної техніки; [15] – аналіз методів вимірювання лінійних розмірів; [16] – дослідження проблематики застосування існуючої еталонної бази для метрологічного контролю тахеометрів; [17, 18] – спосіб передачі одиниці фізичної величини – метра з використанням непрямої еталонної відстані.

Достовірність і обґрунтованість результатів роботи підтверджено збіжністю аналітичних розрахунків, експериментально та моделюванням на ЕОМ.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на: XI Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні інформаційні та електронні технології" (Одеса, 2010); I науково-практичній конференції студентів і молодих науковців Одеського державного інституту вимірювальної техніки (Одеса, 2010); II Всеукраїнській науково-практичній конференції Одеської державної академії технічного регулювання та якості (Одеса, 2011); VII Міжнародній науково-практичній конференції "Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє" (Київ, 2011); III Всеукраїнській науково-практичній конференції Одеської державної академії технічного регулювання та якості "Інформаційно-вимірювальні технології в метрології, технічне регулювання та менеджмент якості" (Одеса, 2013); VI Міжнародній науково-практичній конференції "Інтегровані інтелектуальні роботехнічні комплекси ІРТК" (Київ, 2013); VI Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів "Сучасний стан та перспективи розвитку системи технічного регулювання, метрології та якості" (Одеса, 2015); VII Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів "Тенденції розвитку технічного регулювання та метрології в умовах трансформації законодавства в Україні" (Одеса, 2016); Сьомій Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених "Технічне регулювання, метрологія та інформаційні технології" (Одеса, 2017).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 18 праць у наукових фахових виданнях, з них: 6 статей у журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та Index Copernicus; 3 статті у провідних фахових виданнях України; 7 тез доповідей в матеріалах наукових конференцій та 2 патенти України на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 237 сторінок: основний текст на 168 сторінках, 50 рисунків, 26 таблиць та 9 додатків на 38 сторінках. Список використаних джерел містить 91 найменування на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано наукове завдання, мету та задачі дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами та планами, визначено об'єкт та предмет дослідження, обґрунтовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві, апробацію та впровадження результатів роботи, а також структуру і обсяг дисертації.

В першому розділі розглянуто аналіз сучасних конструкцій приладів геодезичного призначення, їх метрологічних характеристик та методів метрологічного контролю.

Показано, що існує велике різноманіття геодезичних приладів, які використовуються при різних завданнях в багатьох галузях господарства. Висвітлено, що постійний прогрес в приладобудуванні поповнює парк геодезичних приладів, що відрізняються за своїми характеристиками, в тому числі і похибками.

За результатами аналізу вітчизняних і зарубіжних публікацій встановлено, що метрологічний контроль геодезичних приладів реалізується за допомогою спеціальних лабораторних установок та геодезичних полігонів. Так, наприклад, метрологічний контроль теодолітів, кутомірної частини тахеометрів проводиться в умовах лабораторії на спеціальних лабораторних установках та регламентується окремою методикою, а метрологічний контроль світловіддалемірів, віддалемірної частини тахеометрів здійснюється на геодезичних полігонах з набором базисних відстаней різної довжини теж за окремою методикою.

Базисний лінійний геодезичний полігон – це еталон, який служить для забезпечення єдності лінійних вимірювань в геодезичних мережах, передачі одиниці фізичної величини довжини – метра від еталону робочим приладам. В Україні такі полігони є в Вінницькій, Київській, Львівській, Миколаївській, Одеській, Харківській та Івано-Франківській областях, що в масштабах країни є недостатнім.

Завдяки складності застосування різних засобів та методів метрологічного контролю для одного приладу – існує практична потреба в об'єднанні засобів перевірки кутомірної та віддалемірної частин тахеометрів. Відповідно єдиної характеристики – похибки, в тахеометрі немає, оскільки існують дві різні за походженням похибки: похибка кутомірної частини та похибка віддалемірної частини тахеометра.

На підставі проведеного аналізу метрологічного контролю тахеометрів, зроблено висновок про основні наявні проблеми:

- у зв'язку з відсутністю достатньої кількості еталонних геодезичних полігонів, в Україні недостатньо метрологічних лабораторій, які надають послуги з метрологічного контролю тахеометрів;

- створення нових еталонних геодезичних полігонів потребує великих людських і фінансових витрат, а застосування існуючих - додаткових витрат на оренду землі для розташування еталонних геодезичних полігонів, транспортування і витрати часу для транспортування тахеометрів;

- вплив на точність проведення метрологічного контролю віддалемірної частини тахеометрів дестабілізуючих факторів, таких як атмосферні умови;

- відсутня єдина стандартизована нормативна база з проведення метрологічного контролю тахеометрів в Україні.

Запропонована класифікація приладів геодезичного призначення, в основу якої покладено такі параметри як місце та умови проведення метрологічного контролю.

У другому розділі викладені теоретичні основи щодо розробки нового методу метрологічного контролю геодезичних приладів у лабораторних умовах.

Показано, що існуючі перешкоди з використання відомої еталонної бази для метрологічного контролю приладів для вимірювання великих лінійних розмірів змушують шукати нові можливості зі створення та використання більш зручних методів метрологічного контролю. Розробка нового методу передбачає розробку способу передачі одиниці фізичної величини метра від еталону до робочих засобів вимірювання, моделі контролю та проведення первинних досліджень.

Обґрунтовано необхідність розроблення методу, який передбачає спрощення процесу повірки тахеометрів за рахунок об'єднання еталонних засобів для метрологічного контролю кутомірної і віддалемірної частини тахеометра в єдиний вимірювальний комплекс. Це, в свою чергу, призведе до зниження собівартості, скорочення часу проведення метрологічного контролю, підвищення точності його проведення та виключення впливу дестабілізуючих факторів, пов'язаних із застосуванням геодезичних полігонів. Крім цього, з'являється можливість розташування відповідного еталону в будь-якій метрологічній лабораторії країни.

Для вирішення задачі зі спрощення процесу повірки тахеометрів розглянуто заміну прямих базисних відстаней, що використовуються в класичному варіанті повірки, на зигзагоподібні які відтворюються за допомогою системи дзеркал. На рис. 1 зображено варіант схеми вимірювання зигзагоподібної відстані у межах лабораторії, де 1 – це випромінювач–приймач, 2 – лазерний промінь, 3 – точки падіння променя на дзеркальну поверхню, 4 – відбивач, 5 – лабораторія.

Від випромінювача–приймача 1 лазерний промінь 2 прямує і потрапляє в точку падіння променя на дзеркальну поверхню 3. Відбившись від дзеркальної поверхні 3 під кутом, який дорівнює куту падіння, лазерний промінь 2 прямує до наступної точки падіння променя на дзеркальну поверхню і так далі до відбивача 4 і назад відповідно.

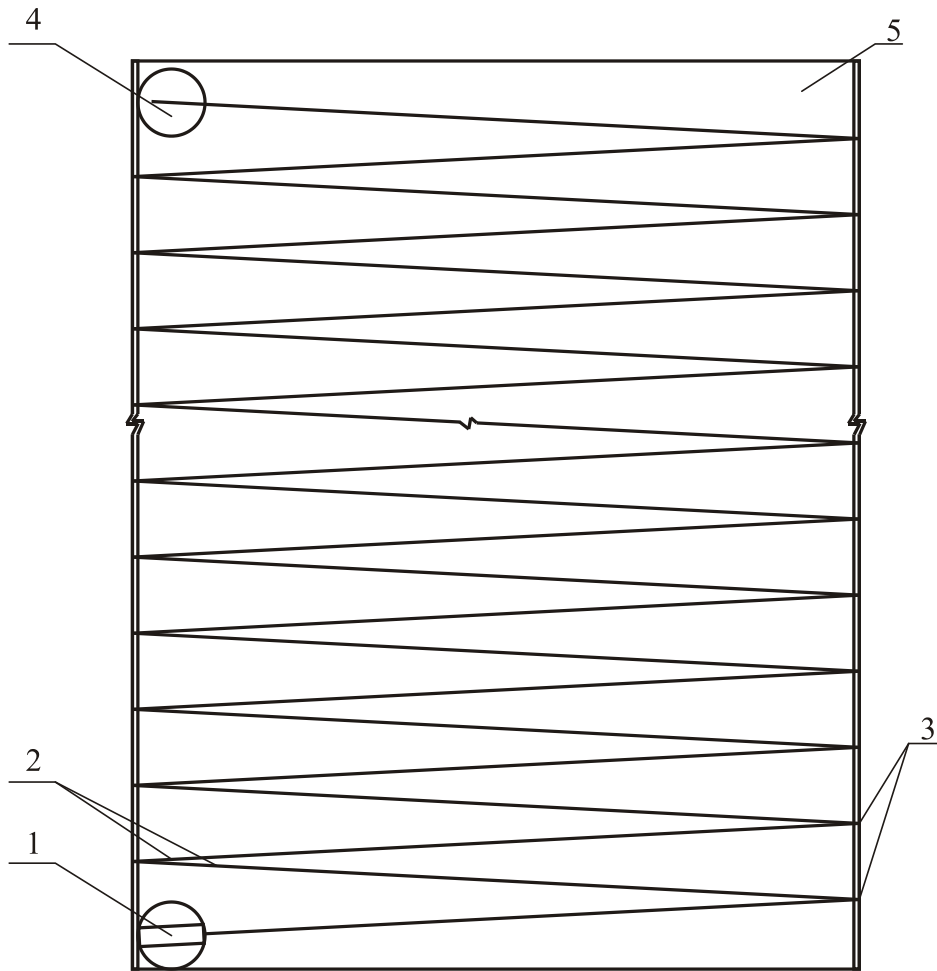


Рисунок 1 – Варіант схеми вимірювання зигзагоподібної відстані

Таким чином, за допомогою системи дзеркал відтворюється базисна відстань у зигзагоподібному вигляді. Далі, використовуючи еталон, визначається довжина зигзагоподібної відстані, яка утворюється внаслідок проходження лазерного променя від випромінювача через систему дзеркал до відбивача і назад в зворотному напрямку на приймач. Після отримання відповідних даних за допомогою робочого засобу вимірювань проводиться розрахунок різниці показів обох приладів та визначення похибки робочого засобу вимірювань.

Спосіб передачі одиниці фізичної величини метра від еталону до робочих засобів вимірювань у лабораторних умовах, у залежності від відтворюваної відстані може включати декілька варіантів втілення.

На рис.2 представлена розрахункова схема зигзагоподібної відстані L , що відтворюється в лабораторії і розраховується за формулою

$$L = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot (n \cdot B - y_0 - y_1), \quad (1)$$

де α – заданий кут зигзагоподібної відстані, відтворюваний лазерним променем випромінювача, n – кількість точок відбиття лазерного променя випромінювача, B – ширина лабораторної кімнати (відстань між площинами з дзеркалами), y_0 – ордината точки розміщення випромінювача, y_1 – ордината точки розміщення відбивача.

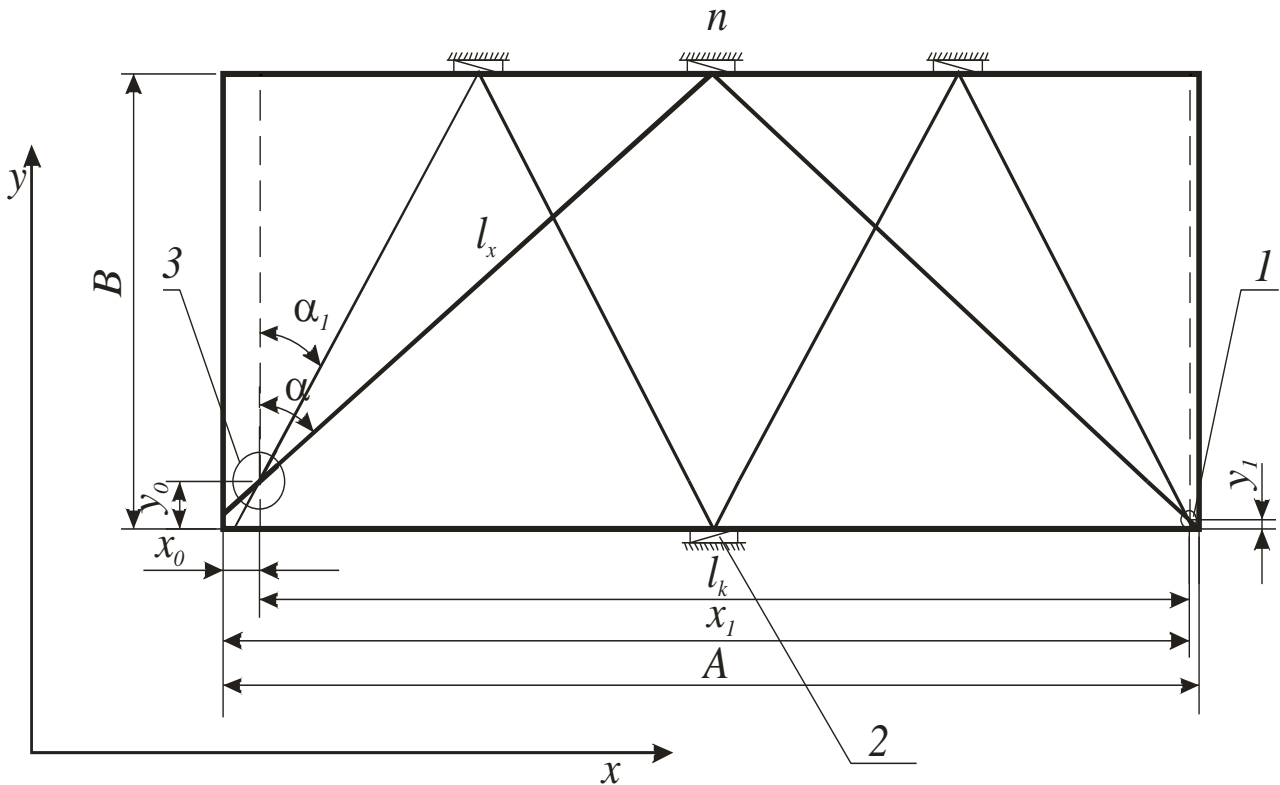


Рисунок 2 – Розрахункова схема зигзагоподібної відстані:

1 – відбивач, 2 – дзеркало, 3 – випромінювач, A – загальна довжина лабораторної кімнати, l_k – відстань між випромінювачем та відбивачем (корисна довжина вимірювальної ділянки), l_x – довжина одиничної ділянки, x_0 – абсциса точки розміщення випромінювача, x_1 – абсциса точки розміщення відбивача

Довжина одиничної ділянки розраховується за формулою

$$l_{x_j} = \frac{B}{\cos \alpha_j}, \quad (2)$$

Довжина вимірювальної ділянки l_k може бути представлена як

$$l_k = x_1 - x_0 = n \cdot B \cdot \operatorname{tg} \alpha - (y_0 + y_1) \operatorname{tg} \alpha.$$

Відповідно

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l_k}{n \cdot B - y_0 - y_1}. \quad (3)$$

Виходячи з вищевикладеного, та за умови розміщення відбивача на площині відповідно рис. 2, кут зигзагоподібної відстані α , відтворюваний лазерним променем визначається за формулою

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{l_k}{n \cdot B - y_0 - y_1} \right), \quad (4)$$

де $n = 2 \cdot k$ (де $k = 1, 2, 3, 4 \dots n$) – кількість точок відбиття лазерного променя.

Графік залежності заданого кута α зигзагоподібної відстані, відтворюваної лазерним променем (при фіксованих значеннях l_k, B, y_0, y_1) від кількості точок відбиття лазерного променя n згідно співвідношення (4) представлено на рис. 3.

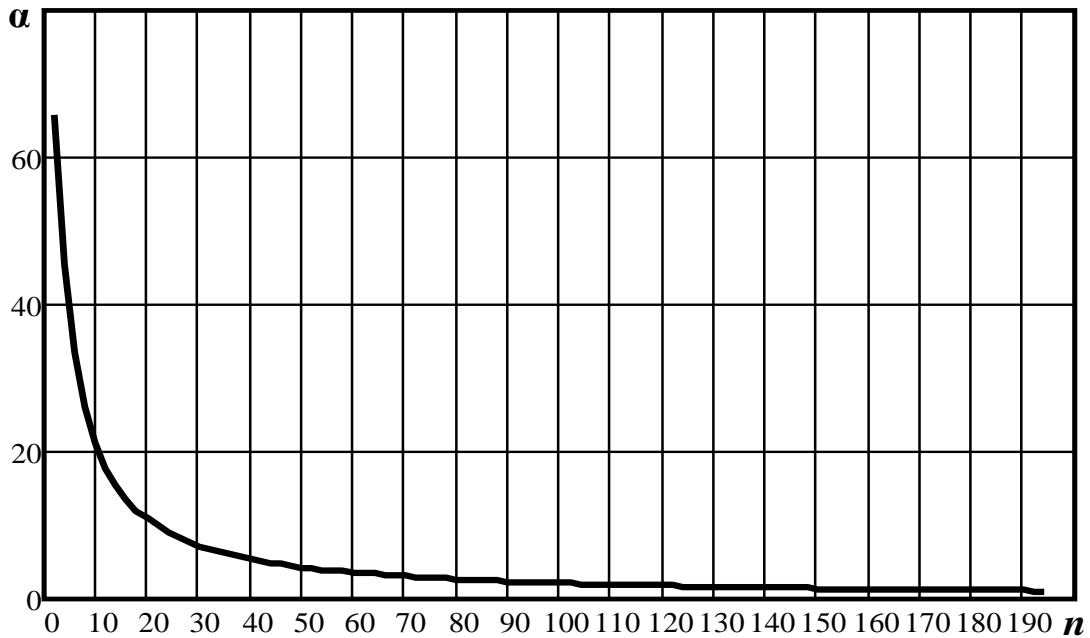


Рисунок 3 – Залежність заданого кута α від кількості точок відбиття лазерного променя n при $l_k = 20$ м, $B = 5,3$ м, $y_0 = 1,45$ м, $y_1 = 0,1$ м

При цьому з формул (1) і (4) довжину зигзагоподібної відстані L можна представити співвідношенням

$$L = \frac{n \cdot B - y_0 - y_1}{\cos\left[\arctg\left(\frac{l_k}{n \cdot B - y_0 - y_1}\right)\right]} \quad (5)$$

Згідно формули (5), за тих же умов проведення дослідження, залежність довжини зигзагоподібної відстані L від кількості точок відбиття лазерного променя n представлена на рис. 4.

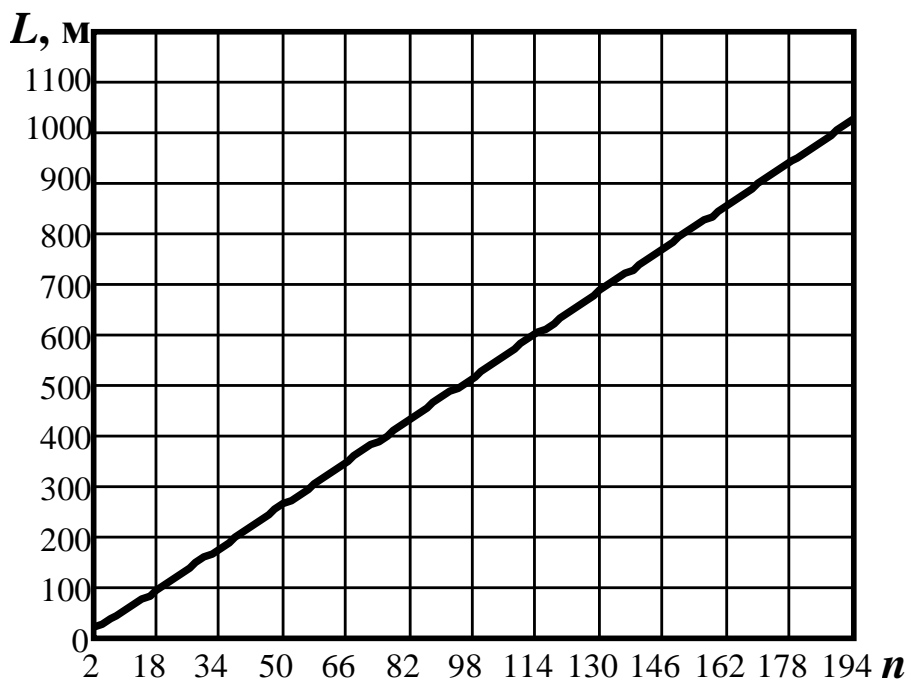


Рисунок 4 – Залежність довжини зигзагоподібної відстані L від кількості точок відбиття лазерного променя n

Як видно з рис. 4 при збільшенні кількості точок відбиття лазерного променя n можна досягти максимальних значень довжини L зигзагоподібної відстані при умовах зменшення кута α . При цьому мінімальний кут α_{\min} не повинен бути менше значення

$$\alpha_{\min} = \operatorname{arctg} \frac{b_p}{4(B-y_0)}, \quad (6)$$

де b_p – габаритний розмір приладу, корпус якого перешкоджатиме розповсюдженню лазерного випромінювання до другої точки відбиття.

Залежність мінімального кута повороту приладу α_{\min} від відстані між площинами з дзеркалами B при $b_p = 0,3 \text{ м}$ представлена на рис. 5.

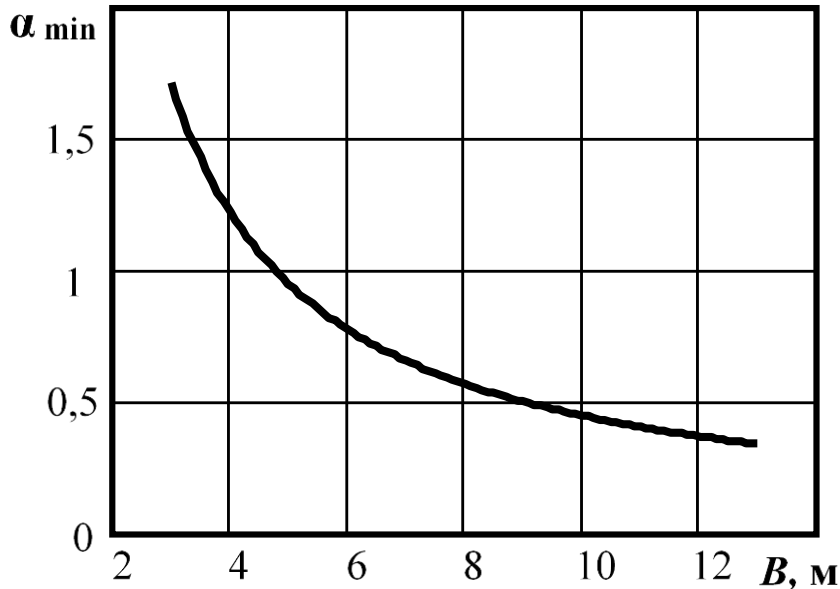


Рисунок 5 – Залежність мінімального кута повороту приладу α_{\min} від відстані між площинами з дзеркалами B

За формулою (6), для наведених умов проведення дослідження, значення мінімального кута α_{\min} дорівнює $1,116^\circ$. Відповідно графіку на рис. 3 визначене значення кута α_{\min} відповідає $n=194$ точкам відбиття лазерного променя. Для такої кількості n , за формулою (5) та відповідно залежності на рис. 4, максимальна відтворювана зигзагоподібна відстань складає 1026,84 м.

В розділі розглянута можливість заміни прямих базисних відстаней, що використовуються в класичному варіанті повірки на непрямі базисні відстані, що розміщуються у відрізках оптичного волокна. Вказаний спосіб передачі одиниці фізичної величини – метра від еталонних приладів до робочих засобів вимірювань полягає в використанні методу заміщення за аналогією зі способом, який використовує зигзагоподібні відстані.

За допомогою системи збираючих лінз, призм та дзеркал, сфокусувавши вихідний лазерний промінь тахеометра на торець оптичного волокна, внаслідок проходження променя від випромінювача через оптичне волокно назад на приймач (попередньо з'єднавши протилежний кінець волокна з приймачем тахеометра) отримають результати вимірювання довжини оптичного волокна на екрані еталонного тахеометра.

Отримання відповідних даних таким же способом, але за допомогою робочих засобів вимірювань, а також розрахунків на підставі отриманих результатів похибки останніх, дозволяє зробити метрологічний контроль тахеометрів та світловіддалемірів більш дешевим і зручним способом. Контролюючи під час вимірювання параметри зовнішнього повітря в лабораторії, можливо підвищити точність вимірювань.

У **третьому розділі** розроблено методику повірки тахеометрів на підставі нового методу метрологічного контролю геодезичних приладів у лабораторних умовах і розроблено методику калібрування віддалемірної частини тахеометрів. Також, у цьому розділі наведена проблематика щодо уточнення термінології геодезичної метрології.

Розроблена нова методика повірки тахеометрів, яка об'єднує в єдину процедуру контроль метрологічних характеристик всього приладу, що є природним з точки зору класичної метрології, а також дозволяє використовувати новий запропонований метод метрологічного контролю.

Методологія метрологічного контролю віддалемірної частини тахеометра, згідно нової методики, відрізняється від існуючої тим, що вимірювання кожної контрольованої зигзагоподібної відстані здійснюється послідовно еталоном та робочим засобом вимірювання. Потім, використовуючи визначене еталонне значення контрольованої зигзагоподібної відстані, розраховується середня квадратична похибка (СКП) робочого засобу вимірювання.

З метою калібрування тахеометрів, що використовуються в якості еталону, визнання на міжнародному рівні документів з метрологічного контролю тахеометрів і світловіддалемірів, а також для можливості успішного використання процедури калібрування згідно вимог міжнародного стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025 "Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій" – розроблена методика калібрування тахеометрів (віддалемірна частина).

Запропоновано прийняття стандарту, що дає чітке визначення метрологічній термінології в сучасній геодезії і дозволить узгодити терміни та визначення основних понять метрології, які представлені в трьох неузгоджених між собою чинних нормативних документах:

- Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність";
- ДСТУ 2681-94 "Метрологія. Терміни та визначення";
- Міждержавні рекомендації РМГ 29-99 "Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения".

Необхідність прийняття стандарту обумовлюється тим, що в переважній більшості нормативної документації, яка відноситься до геодезичних засобів вимірювання, зокрема тахеометрів, використовується термін «середня квадратична похибка вимірювання».

Цей термін використовується усіма лабораторіями, що здійснюють повірку тахеометрів в Україні, а також зазначений в МПУ 164/01–2003 і експлуатаційній документації на прилади, однак відсутній в офіційній метрологічній термінології України.

У четвертому розділі розглянуто апробацію методу метрологічного контролю геодезичних приладів у лабораторних умовах. Для цього проведена перевірка тахеометрів розробленим методом, а отримані результати порівняно з результатами перевірки, які були отримані за існуючим методом перевірки.

З метою дослідження впливу дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища, а також кількісної оцінки підвищення точності вимірювань в лабораторії, досліджено вплив дестабілізуючих факторів для загальної похибки вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону, а саме від зміни метеорологічних умов. На Одеському полігоні були проведені дослідження метеорологічних умов протягом 25 днів в робочий час. Критеріями оцінки були наступні параметри: час контролю метеопараметрів (3 рази у робочий час); температура повітря, °С; атмосферний тиск, мм. рт. ст.; відносна вологість, %; швидкість вітру, м/с; хмарність, %; наявність опадів; кількість опадів та стан ґрунту. Результати досліджень, що відображають можливість перевірки віддалемірної частини тахеометра на Одеському геодезичному полігоні, представлені у вигляді гістограми на рис.6.

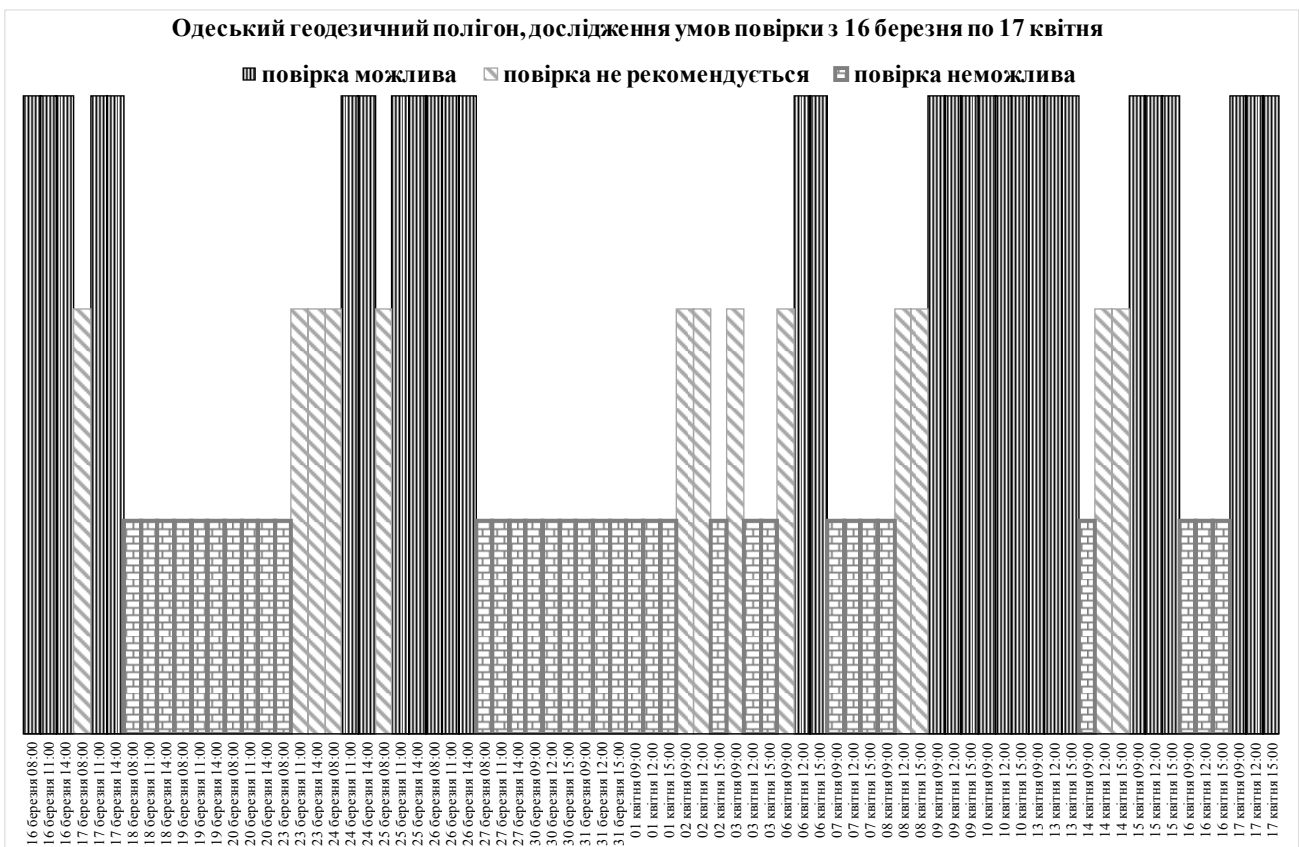


Рисунок 6 – Гістограма дослідження метеорологічних умов на Одеському геодезичному полігоні протягом 25 днів в робочий час

Аналіз результатів досліджень показав, що з 25 робочих днів: 7 днів за своїми метеоумовами повністю підходять для проведення вимірювань; 4 дні підходять для проведення вимірювань тільки в одній з фаз робочого дня; 5 днів – на протязі однієї фази дня якої не бажано проводити вимірювання, а інша не підходить для проведення вимірювань взагалі; 9 днів – повністю не підходять для проведення вимірювань.

Таким чином із 25 днів на протязі 14 повних та 4 неповних робочих днів неможливо проводити вимірювання на геодезичному полігоні (рис. 7).



Рисунок 7 – Порівняння відсотку робочого часу з придатними умовами проведення повірки на полігоні та в лабораторії

Використовуючи найбільші та найменші значення зміни метеоумов на протязі часу вимірювань еталонної базисної відстані геодезичного полігону, визначено найбільші на найменші вклади випадкової складової похибки за зміну температури та тиску. Проаналізувавши дані досліджень впливу метеоумов на точність повірки геодезичних приладів, виконано розрахунок випадкової складової похибки і зроблено висновок, що при вимірюванні еталонної базисної відстані геодезичного полігону довжиною ≈ 96 м випадкова невиключна похибка складає $\approx 0,21$ мм, при допустимому значенні СКП тахеометра для вказаної відстані 2,2 мм.

Використання нового методу повірки тахеометрів дозволило проводити вимірювання відстаней в лабораторії при нормальних умовах, з мінімальними відхиленнями температури, тиску та вологості у часі. Крім цього, проведення вимірювань в лабораторії дозволило змінювати та підтримувати температуру на рівні такої, яку заклад виробник тахеометру як «стандартну». Змодельовавши зміну температури та тиску в лабораторії на рівень половини від найменшого значення зміни за 1 годину на геодезичному полігоні, отримано, що сумарний вплив похибки становить 3,5 мкм. Це в 60 разів менше, ніж розмір розрахованої випадкової невиключеної похибки при вимірюванні еталонної базисної відстані геодезичного полігону довжиною 96 м.

На сьогодні методики повірки, які пропонуються різними виробниками тахеометрів, установлюють час витримки тахеометра на робочому місці від 1 до 2 годин перед безпосереднім проведенням повірки. З урахуванням часу який потрібен на проведення вимірювань довжин базису полігона, тривалість повірки віддалемірної частини тахеометра може складати до 3 годин, що сумарно з часом для повірки кутомірної частини тахеометру становить близько 6 годин.

Новий метод повірки дозволяє прискорити проведення віддалемірних вимірювань в 6 разів, порівняно з існуючим методом. Завдяки нехтовно малим змінам параметрів навколишнього середовища за час проведення віддалемірних вимірювань в лабораторії, випадковою похибкою за зміну метеоумов можна знехтувати.

На рис. 8 зображена гістограма порівняння якісних характеристик існуючого та нового методів повірки тахеометрів.



Рисунок 8 – Гістограма порівняння існуючого та нового методів повірки тахеометрів

Експериментальні дослідження протягом 15 місяців проводились на 40 тахеометрах, що підлягали повірці в частині контролю віддалемірної частини на полігоні (рис. 9) та в лабораторії (рис. 10), використовуючи зигзагоподібну еталонну відстань.



Рисунок 9 – Повірка віддалемірної частини тахеометра на Одеському еталонному геодезичному полігоні



Рисунок 10 – Повірка кутомірної та віддалемірної частини тахеометра в лабораторних умовах: 1 – автоколімаційна установка, 2 – тахеометр, 3 – дзеркало.

З 40 одиниць представлених на повірку тахеометрів: 38 одиниць придатні до експлуатації; 1 одиниця не придатна до експлуатації; 1 одиниця придатна, з обмеженням діапазону вимірювань відстаней.

При цьому в 4 приладах із 40 значення СКП вимірювання відстаней, що було визначене за допомогою еталонних відстаней на полігоні і в лабораторії – співпало; в 36 випадках різниця між значеннями СКП вимірювання відстаней лежить в діапазоні випадкової невиключної похибки від 0,1 до 0,2 мм.

В усіх 36 одиницях значення СКП вимірювання відстаней в лабораторії менше значення СКП вимірювання відстаней на полігоні на величину, що не перевищує випадкової невиключної похибки 0,2 мм. Переважна більшість різниць значень СКП не перевищує 0,1 мм. Результати вимірювань, де різниця значень СКП складає 0,2 мм характеризуються складними метеоумовами при контролі метрологічних характеристик на полігоні.

На рис. 11 зображена гістограма порівняльного аналізу визначених СКП при використанні різних методів повірки тахеометрів. На осі X зазначеної гістограми зображена дата повірки тахеометрів, які використовувались в експерименті. Ось Y вказує величину СКП вимірювання відстаней. Суцільна тонка лінія з трикутниками - допустиме значення СКП вимірювання відстаней, яке установлене виробниками тахеометрів. Пікове значення допустимої СКП тахеометра, що перебував на повірці 21.08 пояснюється недостатньою точністю тахеометрів фірми «УОМЗ». Однак, визначена величина СКП вимірювання відстаней на полігоні та в лабораторії для даного тахеометру не перевищує 19% допустимої СКП вимірювання відстаней.

Порівняльний аналіз визначених СКП вимірювання відстаней при використанні різних методів повірки тахеометрів

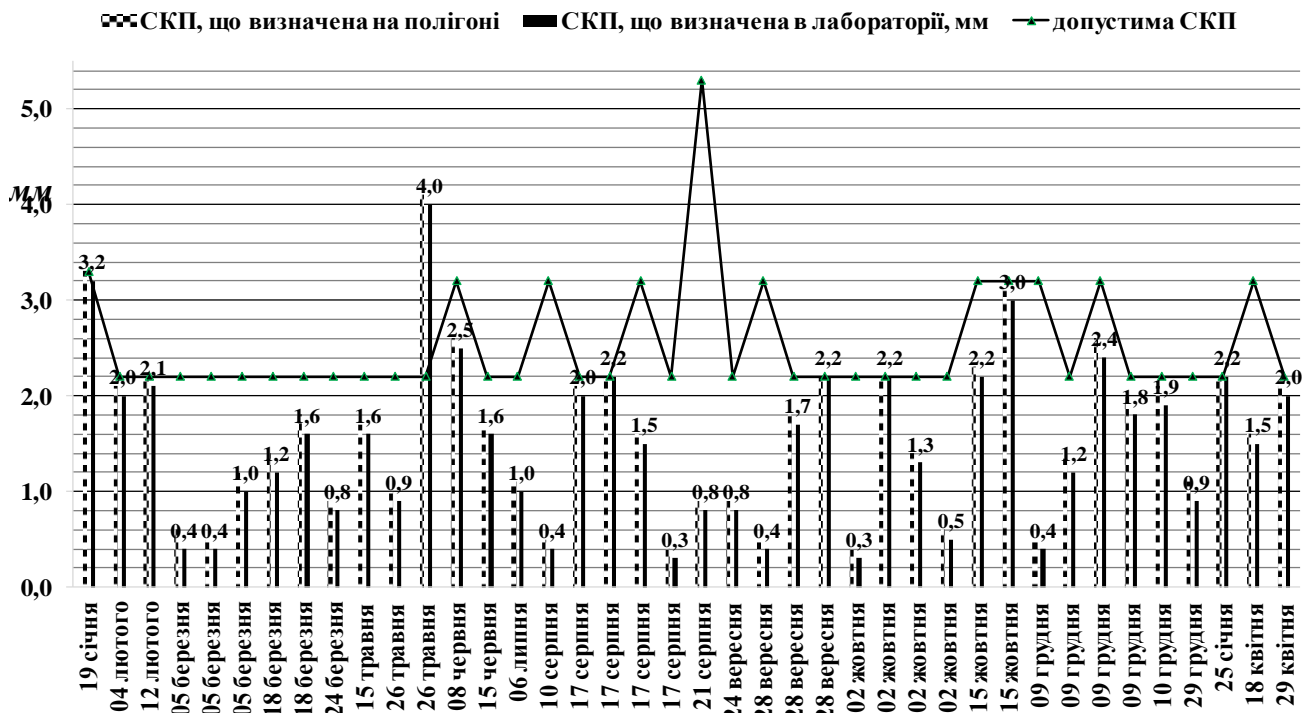


Рисунок 11 – Гістограма порівняльного аналізу визначених СКП при використанні різних методів повірки тахеометрів

В таблиці 1 представлені орієнтовні фінансові витрати на реалізацію різних методів повірки тахеометрів.

Таблиця 1

Орієнтовні фінансові витрати на реалізацію різних методів повірки тахеометрів

| Витрати | Існуючий метод повірки | Новий метод повірки |
|---|------------------------|---------------------|
| Витрати на калібрування еталонів, тис. грн. за рік | 25,00 | 12,20 |
| Витрати на оренду землі для розташування полігону, тис. грн. за рік | 250,00 | 0,00 |
| Витрати, пов'язані з проектуванням та будівництвом полігону, тис. грн. | 319,85 | 0,00 |
| Вартість автомобіля ЗАЗ «Сенс», тис. грн. | 180,00 | 0,00 |
| Витрати, пов'язані з придбанням еталону – тахеометру та допоміжного приладдя, тис. грн. | 0,00 | 450,00 |

Вартість будівельних робіт зі створення нового лінійного базису полігону геодезичного в кожному окремому випадку може змінюватись відповідно до кліматичних умов регіону, вартості будівельних матеріалів і місця розташування полігону. Аналогічно – витрати на оренду землі для розташування полігону.

За витрати для існуючого методу повірки – прийнята сума платежу оренди земельної ділянки у відповідності до нормативної грошової оцінки земель міста Одеси, що затверджена рішенням Одеської міської ради від 29.06.2016 № 756-VII і орієнтована кошторисна вартість будівництва геодезичного полігону.

Для аналізу ефективності запропонованого методу повірки тахеометрів здійснено порівняння фінансових витрат, що представлені в таблиці 1 за 5 років застосування обох методів у вигляді графіка на рис.12.

Порівняння фінансових витрат для методів повірки тахеометра за 5 років

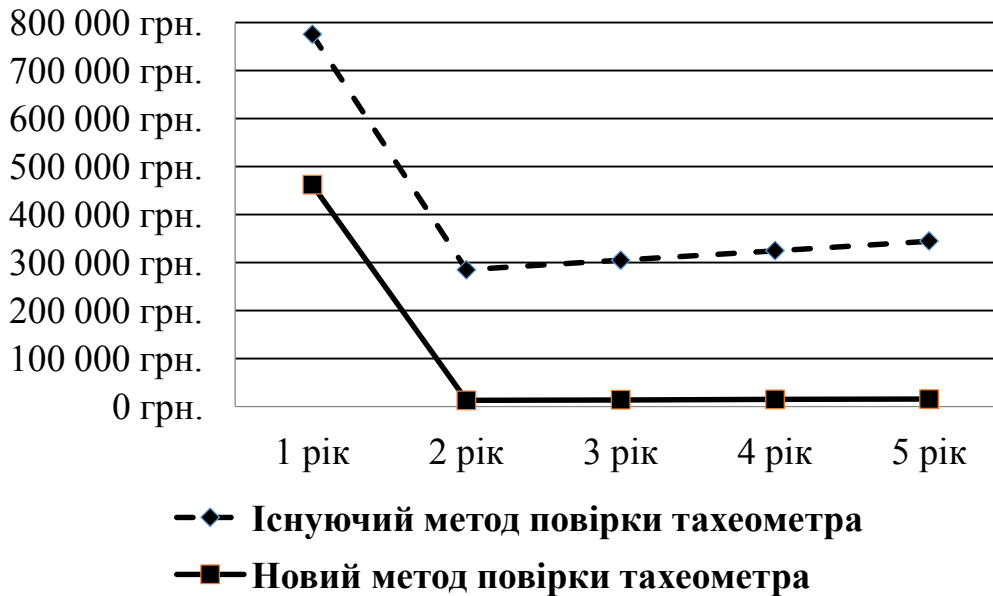


Рисунок 12 – Графік порівняння фінансових витрат для методів повірки тахеометрів за 5 років

На основі вищевикладеного можна зробити висновок про ефективність запропонованого способу передачі одиниці фізичної величини – метра від еталону до робочих засобів вимірювальної техніки в лабораторії.

ВИСНОВКИ

Сукупність отриманих у роботі теоретичних та експериментальних результатів забезпечили розв'язання важливого наукового завдання – створення методу метрологічного контролю геодезичних засобів вимірювальної техніки, який дозволяє підвищити ефективність заходів, пов'язаних з повіркою та калібруванням тахеометрів і світловіддалемірів. Основні наукові і практичні результати:

1. На основі проведеного аналізу і дослідження існуючих конструкцій приладів геодезичного призначення запропонована їх класифікація, в основу якої покладено такі параметри як місце і умови проведення метрологічного контролю.

2. Проаналізовано сучасний стан метрологічного забезпечення приладів геодезичного призначення та методів їх контролю, що дозволило зробити

висновок про необхідність спрощення процесу повірки тахеометрів: об'єднання еталонних засобів для метрологічного контролю кутомірної і віддалемірної частини в єдиний вимірювальний комплекс, зведення до мінімуму впливу дестабілізуючих факторів на весь процес метрологічного контролю та повного виключення всіх проблем пов'язаних з проектуванням і побудовою геодезичних полігонів.

3. Розроблена математична модель вимірювання під час передачі одиниці фізичної величини - метра від еталону до робочих засобів вимірювальної техніки.

4. Розроблено нові способи передачі одиниці фізичної величини – метра від еталону до робочих засобів вимірювальної техніки, що лягли в основу нового методу метрологічного контролю тахеометрів. Перевага розробленого методу перед існуючими - можливість проводити метрологічний контроль тахеометрів практично у будь-якій випробувальній (калібрувальній) лабораторії, зменшити час виконання віддалемірних вимірювань в 6 разів, а також виключити вплив дестабілізуючих факторів, пов'язаних із застосуванням геодезичних полігонів.

5. На основі розробленого методу метрологічного контролю тахеометрів створено методикау повірки тахеометрів і розроблено нормативну документацію для забезпечення простежуваності вимірювань.

6. Розроблені практичні рекомендації щодо оцінювання невизначеності результату вимірювань при виконанні робіт в калібрувальних та вимірювальних лабораторіях, а також в навчальному процесі.

7. Проведена експериментальна апробація розробленого методу. Отримано результати, які підтверджують ефективність використання та підвищення точності вимірювань внаслідок використання розробленого методу на 10%.

8. Запропоновано подальше дослідження ефективності способу передачі одиниці фізичної величини – метра, використовуючи оптичне волокно як базисну еталонну відстань.

9. Результати роботи впроваджено в процес метрологічного контролю приладів геодезичного призначення в ДП "Одесастандартметрологія".

10. Розрахунок фінансових витрат щодо застосування існуючого та запропонованого методів повірки тахеометрів, показує суттєву економічну ефективність застосування нового методу повірки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у виданнях, які включені в міжнародні бази даних науково-технічних видань Scopus та Index Copernicus:

1. Подостроєць К.О. Дослідження впливу дестабілізуючих факторів на вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2017. – №19 (1241). – С. 103-107 (видання включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).

2. Kolomiets L.V. The evaluation of measurement uncertainty of total station permanence / L.V. Kolomiets, K.A. Podostroets // Scientific and technical journal

“Metallurgical and Mining Industry”.– 2015.– № 6. – Р.606-610 (видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).

3. Коломиец Л.В. Метрологический контроль тахеометров / Л. В. Коломиец, К. А. Подостроец // Компетентность: научно-технический журнал. – 2014. – № 3/114. – С. 36–40 (видання включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).

4. Коломієць Л.В. Метрологічне забезпечення засобів вимірювання великих лінійних розмірів / Л.В. Коломієць, К.О. Подостроець // Научно-технический и производственный журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность». –2014.– № 4(289).– С.102-105 (видання включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus)

5. Подостроець К.О. Аналіз засобів вимірювальної техніки геодезичного призначення та методів їх метрологічного контролю // Метрологія та прилади: науково-виробничий журнал. – 2013. – № 2 (40). – С.176-181 (видання включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).

6. Гукасян А.П. Реалізація способу метрологічного контролю геодезичних засобів вимірювальної техніки / А.П. Гукасян, В.І. Новіков, К.О. Подостроець // Метрологія та прилади: науково-виробничий журнал. – 2013. – № 4 (42). – С. 32-37 (видання включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus.)

Статті у наукових фахових виданнях:

7. Подостроець К.О. Математична модель способу передачі одиниці фізичної величини метра від еталону до робочих засобів вимірювальної техніки в лабораторних умовах // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2017. – №1(10). – С. 71-76.

8. Коломієць Л.В. Нормативне забезпечення способу метрологічного контролю тахеометрів / Л.В. Коломієць, К.О. Подостроець // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2014. – № 1(4). – С.48-52.

9. Коломієць Л.В. Аналіз метрологічного забезпечення геодезичних засобів вимірювальної техніки / Л.В. Коломієць, К.О. Подостроець // Вісник Інженерної Академії України. – 2010. – № 1. – С. 253-255.

Тези доповідей в збірниках матеріалів конференцій:

10. Подостроець К.О. Метод метрологічного контролю геодезичних вимірювань // Тенденції розвитку технічного регулювання та метрології в умовах трансформації законодавства в Україні: тез. доп. VII Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 19 – 20 травня 2016 р. – Одеса, ОДАТРЯ, 2016. – С.94-95.

11. Подостроець К.О. Використання оптичного волокна у метрологічному контролі тахеометрів в лабораторних умовах // Сучасний стан та перспективи розвитку системи технічного регулювання, метрології та якості: тез. доп. VI Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 21 – 22 травня 2015 р. – Одеса, ОДАТРЯ, 2015. – С.142-148.

12. Подостроець К.О. Базис лінійний полігону геодезичного // Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК-2013): тез. доп. VI Міжнародної наук.-практ. конф., 27–29 травня 2013 р.– Київ, НАУ, 2013.– с.103.

13. Подостроєць К.О. Альтернативний шлях розвитку метрологічного забезпечення геодезичних засобів вимірювальної техніки для визначення великих лінійних розмірів / Л.В. Коломієць, К.О. Подостроєць // Інформаційно-вимірювальні технології в метрології, технічне регулювання та менеджмент якості: тез. доп. III Всеукраїнської наук.-практ. конф., 30 – 31 травня 2013 р. – Одеса, ОДАТРЯ, 2013. – с.131.

14. Подостроєць К.О. Альтернативний шлях розвитку метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки для визначення великих лінійних розмірів / Л.В. Коломієць, К.О. Подостроєць // Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє: тез. доп. VII Міжнародної наук.-практ. конф., 24 – 25 листопада 2011 р., – Київ, ВІКНУ, 2011. – с.47-48.

15. Подостроєць К.О. Методи вимірювання великих лінійних розмірів тахеометром / Л.В. Коломієць, К.О. Подостроєць // Інформаційно-вимірювальні технології, технічне регулювання та менеджмент якості: тез. доп. II наук.-практ. конф. ОДАТРЯ, 17 листопада 2011 р. – Одеса, ОДАТРЯ, 2011. – С.193-195.

16. Подостроєць К.О. Метрологічне забезпечення геодезичних засобів вимірювальної техніки для визначення великих лінійних розмірів / К.О. Подостроєць, Л.В. Коломієць // Вимірювальна техніка, інформаційно-вимірювальні системи, метрологія, стандартизація, сертифікація та менеджмент якості - стан, досягнення і перспективи розвитку в Україні: тез. доп. I наук.-практ. конф. студентів і молодих науковців, 27 – 28 травня 2010 р. – Одеса, ОДІВТ, 2010. – С.10-11.

Патенти України на корисну модель:

17. Подостроєць К.О., Коломієць Л.В. Патент України на корисну модель № 82726, МПК (2013.01) G01C 25/00, G01B 11/02 (2006.01) Спосіб передачі одиниці довжини від еталона до робочих засобів вимірювальної техніки для визначення великих лінійних розмірів, Бюл. № 15; Заяв. 26.02.2013; Публ. 12.08.2013.

18. Подостроєць К.О., Коломієць Л.В. Патент України на корисну модель № 57280, МПК8 G01C 25/00, МПК8 G01C 3/00. Спосіб передачі одиниці фізичної величини – метра від еталонних засобів вимірювальної техніки до робочих засобів вимірювальної техніки для визначення великих лінійних розмірів, Бюл. № 4; Заяв. 23.04.2010; Публ. 25.02.2011.

АНОТАЦІЯ

Подостроєць К.О. Створення та дослідження нового методу повірки геодезичних засобів вимірювальної техніки. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.11.01 – Прилади та методи вимірювання механічних величин. – Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса, 2017.

Дисертація присвячена удосконаленню метрологічного забезпечення геодезичних засобів вимірювальної техніки шляхом впровадження нового методу метрологічного контролю (повірка, калібрування) тахеометрів, який на відміну від існуючих об'єднує процедури контролю кутомірної та віддалемірної

частини тахеометрів в єдину процедуру і використовує непряму, змодельовану за допомогою оптичної схеми відстань, що дозволяє скоротити витрати на створення, утримання та використання еталону та підвищити точність вимірювань. Оцінено вплив дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища на процес вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону. Отримав подальший розвиток метод метрологічного контролю тахеометрів, який використовує альтернативний спосіб передачі одиниці фізичної величини довжини від еталону до робочого засобу вимірювань, що може спростити конструкцію еталону.

Ключові слова: геодезичні засоби вимірювальної техніки, метрологічний контроль, повірка, калібрування, тахеометр, точність, базис геодезичного полігону.

ANNOTATION

Podostroiets K.O. Creation and investigation of a new method for checking geodetic means of measuring equipment. – Manuscript.

The thesis for obtaining a scientific degree of PhD in Engineering at speciality of 05.11.01 - Instruments and methods for measuring mechanical quantities. – Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality, Odessa, 2017.

The thesis is devoted to the improvement of metrological control for geodetic measuring instruments by introducing a new method of metrological control (verification, calibration) of total stations that, unlike existing ones, unites procedures for controlling the angles and EDM part of total stations in a single procedure and uses measuring of indirect distances modeled with an optical scheme, which reduces the cost of creating, maintaining and the use of the etalon, as well as improving the measurements accuracy. The influence of destabilizing factors of the external environment on the process of measuring of reference base lines of a geodesic polygon is considered. The method of metrological control of total stations has been further developed, which uses an alternative method of traceability the meter unit from the etalon to working instruments in laboratory conditions, which can simplify the construction of the etalon.

Key words: measuring instruments geodetic, metrological control, verification, calibration, total station, accuracy, base line.

АННОТАЦИЯ

Подостроец К.А. Создание и исследование нового метода поверки геодезических средств измерительной техники. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения механических величин. – Одесская государственная академия технического регулирования и качества, Одесса, 2017.

Диссертация посвящена совершенствованию метрологического обеспечения геодезических средств измерительной техники путем внедрения нового метода метрологического контроля (поверка, калибровка) тахеометров, который в отличие от существующих объединяет процедуры контроля

угломерной и дальномерной части тахеометров в единую процедуру и использует непрямую, смоделированную с помощью оптической схемы линию, что позволяет сократить затраты на создание, содержание и использование эталона, а также повысить точность измерений. Оценено влияние дестабилизирующих факторов внешней среды на процесс измерения эталонных базисных расстояний геодезического полигона. Получил дальнейшее развитие метод метрологического контроля тахеометров, который использует альтернативный способ передачи единицы физической величины длины от эталона к рабочему средству измерений, что может упростить конструкцию эталона.

Проведен анализ современных конструкций приборов геодезического назначения, их метрологических характеристик и методов метрологического контроля. По результатам анализа отечественных и зарубежных публикаций установлено, что метрологический контроль геодезических приборов реализуется с помощью специальных лабораторных установок и геодезических полигонов. Так, например, метрологический контроль теодолитов, угломерной части тахеометров проводится в условиях лаборатории на специальных лабораторных установках и регламентируется отдельной методикой, а метрологический контроль светодальномеров, дальномерной части тахеометров осуществляется на геодезических полигонах с набором эталонных базовых расстояний различной длины, также по отдельной методике.

Установлено, что количество метрологических лабораторий, которые предоставляют услуги метрологического контроля тахеометров в Украине недостаточно в связи с малым количеством базисных линейных геодезических полигонов. Создание новых эталонных геодезических полигонов требует больших человеческих и финансовых затрат, а применение существующих - дополнительных расходов на аренду земли для их размещения, транспортировки и затрат времени для поверки или калибровки геодезических средств измерительной техники. На основании анализа метрологического контроля тахеометров, сделан вывод об отсутствии единой стандартизированной нормативной базы по проведению метрологического контроля тахеометров в Украине, а также наличие дестабилизирующих факторов, влияющих на точность проведения метрологического контроля дальномерной части тахеометров на геодезических полигонах. Предложена классификация приборов геодезического назначения, в основу которой положены такие параметры как место и условия проведения метрологического контроля.

Изложены теоретические основы по разработке нового метода метрологического контроля геодезических приборов в лабораторных условиях. Для решения задачи по упрощению процесса поверки тахеометров рассмотрено замену прямых базисных расстояний, используемых в классическом варианте поверки, на зигзагообразные которые воспроизводятся с помощью системы зеркал. Таким образом, воспроизводится контролируемая линия в зигзагообразном виде.

Разработана методика поверки тахеометров на основании нового метода метрологического контроля геодезических приборов в лабораторных условиях, а также разработана методика калибровки дальномерной части тахеометров. Также, приведена проблематика применения терминологии в геодезической метрологии.

Проведена апробация нового метода метрологического контроля геодезических приборов в лабораторных условиях. Проведено исследование влияния дестабилизирующих факторов внешней среды для общей погрешности измерения эталонных базисных расстояний геодезического полигона, а именно от изменения метеорологических условий. Анализ результатов исследований показал, что в течении значительного времени невозможно проводить измерения на полигоне в связи с неудовлетворительными метеорологическими условиями. Используя граничные значения изменения метеоусловий в течении времени измерений эталонных базисов геодезического полигона определены минимальные и максимальные вклады случайной составляющей погрешности при изменении температуры и давления. Проанализировав данные исследований влияния метеоусловий на точность поверки геодезических приборов, произведен расчет случайной составляющей погрешности.

Использование нового метода поверки тахеометров позволило проводить измерения расстояний в лаборатории при нормальных условиях с минимальными отклонениями температуры, давления и влажности во времени. Благодаря пренебрежимо малым изменениям параметров окружающей среды за время проведения дальномерных измерений в лаборатории, случайной погрешностью за изменение метеоусловий решено пренебречь.

В течение 15 месяцев проведены экспериментальные исследования на примере 40 единиц тахеометров, подлежащих поверке в части контроля дальномерной части на полигоне, а также в лаборатории, используя зигзагообразные расстояния.

Проведено сравнение показателей существующего и нового метода метрологического контроля тахеометров.

Ключевые слова: геодезические средства измерительной техники, метрологический контроль, поверка, калибровка, тахеометр, точность, базис геодезического полигона.