



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет
імені Петра Могили

Кафедра управління земельними ресурсами

ПАСЄКА СЕМЕН РУСЛАНОВИЧ

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр
галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»
за освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій»

Науковий керівник: Перович Л.М., д.т.н.,
професор

Рецензент: ТОВ «Миколаївський
земельно-кадастровий інститут»

Миколаїв 2025

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ.....6

1.1 Прилади для вимірювання кутів та відстаней(теодоліти, тахеометри).....6

1.2 Прилади для нівелювання (нівеліри, лазерні нівеліри).....14

1.3 Супутникові системи визначення координат (GNSS-приймачі).....18

1.4 Прилади для топографічної зйомки (дрони, фототеодоліти).....19

РОЗДІЛ 2.МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ.....21

2.1. Основні принципи та роль метрологічного дослідження геодезичних приладів.....21

2.2. Калібрування та повірка геодезичних приладів.....24

2.3. Стандарти та нормативи метрологічного забезпечення.....27

РОЗДІЛ 3.ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОВІРКИ ЕЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА ZTS – 320R.....31

3.1. Загальна характеристика тахеометра ZTS – 320R.....31

3.2. Методи дослідження точності вимірювань.....33

3.3. Повірка електронного тахеометра.....34

3.4. Аналіз похибок та фактори впливу.....49

3.5. Рекомендації щодо експлуатації та обслуговування.....51

ВИСНОВКИ.....53

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....55

ВСТУП

На даний час особливого розвитку та популярності набуває геодезія у різних сферах, особливо у сфері будівництва. Достовірність даних при проєктуванні споруд та будівель, визначення згідно з проєктною документацією основних осей на місцевості, забезпечення геометричних форм будівельної конструкції — одні з основних цілей геодезії. Не менш важливим тут є виявлення відхилень у просторовому положенні відповідно до проєктної документації. Їх визначають не тільки в процесі будівництва, а й під час спостереження (моніторингу) за деформаціями об'єкта та поверхні під ним упродовж тривалого часу після завершення будівельних робіт.

Не менш важливу роль у переліку інженерно-геодезичних робіт займають вишукування. Вони дають можливість комплексно оцінити територію будівництва для подальшого прийняття обґрунтованих проєктних рішень. Основою тут служить топографічне знімання місцевості, результатом якого є топографічний план (у масштабі 1:500–1:1000), на який наносяться елементи ситуації, рельєфу та інженерні мережі. Такі матеріали є невід'ємною складовою частиною проєктної документації та дозволяють враховувати особливості ділянки при проєктуванні споруд.

Суттєво удосконалити виконання геодезичних робіт допомагають сучасні геодезичні прилади. Геодезисти на сьогодні мають у своєму розпорядженні високоточні засоби лазерного вимірювання та супутникової навігації. Особливого поширення та популярності у сфері будівництва набули електронні тахеометри — багатофункціональні інструменти, які дозволяють оперативно та якісно виконувати широкий спектр робіт: від інженерних вишукувань до геодезичного супроводу будівництва.

Сучасні електронні тахеометри, вироблені провідними світовими компаніями, такими як Leica, Sokkia, Topcon, Trimble, Nikon та іншими, є надійними автоматизованими приладами, які здатні суттєво підвищити

ефективність та точність геодезичних робіт. Вони оснащені графічними дисплеями, багатофункціональними панелями керування, інтегрованим програмним забезпеченням та прикладними програмами, що дозволяють вирішувати широкий спектр завдань інженерної геодезії, зокрема:

- обчислення площ земельних ділянок;
- визначення горизонтального прокладання, перевищень або ухилів між точками;
- визначення висоти недоступних об'єктів;
- визначення просторових координат точок (X, Y, H);
- перенесення проєктних елементів на місцевість;
- автоматичне вимірювання та фіксація координат у реальному часі;
- збереження та передача даних у цифровому форматі для подальшої обробки.

Крім того, сучасні тахеометри можуть бути інтегровані з іншими інформаційними системами, такими як САПР (системи автоматизованого проєктування), BIM-технології (Building Information Modeling), що дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі місцевості та об'єктів, забезпечуючи комплексний підхід до планування та контролю будівництва.

Мета роботи дослідити конструктивні особливості, принцип роботи, методи перевірки та вимоги метрологічного забезпечення сучасного електронного тахеометра ZTS – 320R, а також оцінити його придатність до застосування в інженерно-геодезичних роботах.

Завдання роботи:

- провести класифікацію сучасних геодезичних приладів за типами вимірювань;

-розглянути особливості метрологічного забезпечення геодезичних приладів. Надати технічну характеристику електронного тахеометра ZTS – 320R;

-дослідити методи повірки та оцінки точності цього тахеометра;

-виявити основні похибки та фактори, що впливають на точність вимірювань;

-надати рекомендації щодо експлуатації та обслуговування приладу;

Об'єкт дослідження: сучасні геодезичні прилади, зокрема електронні тахеометри.

Предмет дослідження: методи дослідження, повірки та метрологічного забезпечення електронного тахеометра ZTS – 320R.

Методи дослідження:

-теоретичний аналіз літературних джерел та нормативної документації;

-порівняльна характеристика технічних параметрів приладів;

-аналіз методик метрологічної повірки;

-практичне дослідження точності вимірювань на базі реальних спостережень;

-узагальнення результатів та формулювання рекомендацій.

РОЗДІЛ 1

КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ

1.1 Прилади для вимірювання кутів та відстаней(теодоліти, тахеометри)

Геодезичні вимірювання — це основа для створення планів місцевості, карт, інженерних проєктів та здійснення будівельного контролю. Одними з найважливіших операцій є вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, а також відстаней між точками. Для цього застосовуються спеціалізовані прилади: теодоліти — для кутових вимірювань, та тахеометри — для комплексного визначення кутів і відстаней з подальшим розрахунком координат точок. У сучасних умовах геодезисти здебільшого користуються електронними тахеометрами, які значно прискорюють процес вимірювань та зменшують людський фактор у розрахунках.

Теодоліт — це кутомірний прилад, який дає змогу з високою точністю визначити горизонтальні та вертикальні кути між напрямками. В основі роботи приладу лежить зорова труба, що обертається у вертикальній площині, та градування кругів, за якими знімають значення кутів. Теодоліти є механічні, електронні (із цифровим дисплеєм) та цифрові (із лазерними візирами та можливістю підключення до комп'ютера).

Тахеометр — це універсальний геодезичний прилад, який дозволяє вимірювати кути та відстані, а також автоматично обчислювати просторові координати точок. В його основу входить теодоліт з електронним далекоміром. За допомогою кутів (горизонтального та вертикального) і похилої відстані, тахеометр обчислює координати точки в просторі (X, Y, Z).

Виробники тахеометрів пропонують безліч моделей які відрізняються між собою, як функціональними можливостями, так і надійністю. Загальновідомими

виробниками надійних тахеометрів у світі є компанії: Topcon/Sokkia (Японія), Trimble (США), Spectra Precision (США), Leica Geosystems (Швейцарія), Nikon (Японія), Pentax (Японія), Stonex (ЄС). Менш надійними, але більш доступними є тахеометри Foif (Китай), South (Китай), УОМЗ (Росія).

Загальної класифікації тахеометрів, через їх різноманітність не існує. Так іноді тахеометри класифікують за призначенням. В такій класифікації виділяють наступні групи:

- технічні тахеометри – працюють тільки з відбивачем, мають дуже обмежений набір вбудованих функцій;
- будівельні тахеометри – дозволяють працювати в режимі без відбивача, мають вбудовані функції, що дозволяють виконувати розмічувальні роботи;
- інженерні тахеометри – дозволяють вирішувати будь-які інженерні завдання, мають розвинений інтерфейс, обладнані сучасними засобами комунікації.

Будівельні тахеометри (рис.1.1.1) – найпростіші прилади, призначені для вирішення завдань створення опорних інженерно-геодезичних мереж, виконання розмічувальних робіт та виконавчих знімань. Точність цієї групи



тахеометрів обмежена.

Рис.1.1.1 Будівельні тахеометри Leica Builder 505, Sokkia SET550RX-31L, Trimble M3 DR

Інженерні тахеометри (рис.1.1.2) – найбільш широка група тахеометрів до якої входять тахеометри всіх рівнів точності. Інженерні тахеометри дозволяють створювати опорні та спеціальні мережі, виконувати топографічне знімання, розмічувальні роботи, виконавче знімання, монтаж технологічного устаткування, проводити геодезичний моніторинг.



Рис 1.1.2 Інженерні тахеометри Sokkia FX-101, Leica Viva TS11, Nikon Nivo 1.C

Роботизовані тахеометри (рис.1.1.3) – оснащені системою розпізнавання та слідування за візирною ціллю. Найкраще підходять до вирішення завдань топографічного знімання, контролю руху будівельної техніки та геодезичного моніторингу. За рівнем точності не відрізняються від інженерних.



Рис. 1.1.3 Роботизовані тахеометри Leica Viva TS15, Topcon DS, Trimble RTS

Тахеометри з функцією сканування (рис.1.1.4) – дозволяють в режимі без відбивача автоматично вимірювати координати точок через фіксовані відстані. Використовуються при виконавчому зніманні складних просторових



конструкцій та геодезичному моніторингу.

Рис.1.1.4 Тахеометри з функцією сканування Topcon MS, Trimble VX TCU Robotic

Фототахеометри (рис.1.1.5) – тахеометри із вбудованою цифровою камерою. Ефективні при топографічному та виконавчому зніманні, оскільки дозволяють одночасно вести абрис знімання. Можуть використовуватись при виконанні наземного фотограмметричного знімання інженерних споруд.



Більшість сучасних моделей тахеометрів обладнані цифровою камерою.

Рис. 1.1.5. Фототахеометри Trimble S7, Topcon IS-3, Pentax V-325DN

Провідні фірми-виробники тахеометрів передбачають можливість інтегрування тахеометрів та GNSS-обладнання. Такі інтегровані системи отримали назву Total Station і значно спрощують і прискорюють процес виконання топографічного та виконавчого знімання.

При виборі тахеометрів для виконання певних видів інженерно-геодезичних робіт, окрім розглянутих вище груп необхідно звертати увагу на технічні характеристики тахеометрів.

На сучасному етапі технічні тахеометри мають досить обмежене застосування. Тому тахеометри варто класифікувати за їх функціональними

можливостями та завданнями для вирішення яких найбільш вдало вони підходять. Можна виділити наступні групи тахеометрів.

Виділяють:

- класичні електронні тахеометри (наприклад, Leica TS06, Sokkia SET630) — з ручним наведенням;
- роботизовані тахеометри (наприклад, Trimble S5, Leica TS16) — автоматично наводяться на віху;
- безвідбивачеві тахеометри — вимірюють відстані без спеціального відбивача (до 500 м).

Таблиця 1.1.1-Порівняння характеристик теодоліта та тахеометра

Ознака	Теодоліт	Тахеометр
Вимірювання кутів	Так	Так
Вимірювання відстані	Ні (потрібен окремий далекомір)	Так (вбудований далекомір)
Обчислення координат	Ні	Так (автоматично)
Тип відліку	Механічний або цифровий	Електронний
Швидкість роботи	Помірна	Висока
Підключення до ПК	Обмежене або відсутнє	Так, через USB,Bluetooth тощо
Сфера застосування	Освіта, прості польові роботи	Професійна зйомка, інженерна геодезія

Електронно обчислювальна техніка практично вирішила проблему автоматизації опрацювання результатів геодезичних вимірювань. Проте, оскільки відліки в старих оптичних приладах фіксують «на око», результати вимірювань не можна ввести у комп'ютер автоматично безпосередньо з приладу. Тому виникла необхідність у приладах, результати вимірювань яких можна подати у такій формі, щоб їх можна було застосувати безпосередньо, як

вхідну інформацію, для автоматичного опрацювання. Такими приладами стали електронні (кодові) теодоліти, в яких використовують кодову систему визначення напрямків, яка дала можливість автоматизувати вимірювання кутів і одночасно відображати результати вимірювань на носії інформації.

Електронному теодоліту притаманні всі ознаки теодоліта як приладу для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів. Конструкції електронних та оптичних теодолітів мають багато спільного.

В сучасних електронних теодолітах точність вимірювання кутів може бути дуже високою, досягаючи 0,2". Зовнішньо електронні теодоліти і електронні тахеометри майже не відрізняються (рис.1.1.6) . Порівняння тахеометра та теодоліта наведено в таблиці 1.1.1. Але, не зважаючи на поступову заміну електронних теодолітів електронними тахеометрами, перші все ще тримаються на ринку геодезичних приладів, тому, що є значно дешевшими.



Рис.1.1.6. Електронний теодоліт Рис. 1.1.2. Електронний тахеометр
LEICA TS06 plus 5" R500

Електронні тахеометри є різноманітної точності. Нові моделі тахеометрів ідеально підходять для виконання високоточних геодезичних робіт, для

моніторингу деформацій споруд та інших робіт, що вимагають високої точності. Точність кутових вимірювань коливається в межах від 0.5'' до 7'', а лінійних, в залежності від довжини лінії, від 0.5мм до 3мм. Дальність вимірювання відстаней на призму відбивача може доходити до 10 км, у режимі без відбивача - в діапазоні від 1 метра до 1 км. На базі сучасних електронних тахеометрів створюються повністю роботизовані станції, здатні без участі людини згідно певної розробленої програми вести постійні спостереження за об'єктами, що дозволяє визначити деформацію земної поверхні, крени і зсуви будівель та інженерних споруд.

В інженерно-геодезичних роботах лінійні вимірювання виконують мірними стрічками, рулетками, нитковим та оптичним віддалемірами, електронними тахеометрами. Для топографо-геодезичних та вишукувальних робіт часто застосовується землемірна стрічка і рулетка, а також лазерні



рулетки, наприклад Leica DISTOTMA5.

Рис.1.1.3. Землемірна стрічка



Рис. 1.1.4. Рулетка РК-50

Рис.1.1.5. Leica DISTOTMA5

Для вимірювання віддалей до 200м лінійним способом використовують лазерні рулетки. Ці прилади успішно замінюють класичні мірні стрічки та



рулетки, які ще масово використовують на виробництві. Робота ними більш якісна. Точність вимірювання становить до 1мм.

1.2 Прилади для нівелювання (нівеліри, лазерні нівеліри)

Широкого розповсюдження на будівництві отримали електронні (цифрові) нівеліри. Це сучасні геодезичні прилади, які поєднують у собі функції високоточного оптичного нівеліра, електронного пристрою, для збереження інформації програмного забезпечення для обробки результатів геодезичних вимірювань. Для виконання вимірювань користувачеві досить навести на рейку і натиснути всього одну клавішу. Вбудований електронний пристрій знімає відлік скануванням з спеціальної нівелірної рейки з великою точністю. Після чого нівелір обчислить перевищення і виміряє відстань. Результати вимірювань виводяться на екран і можуть бути збережені в пам'яті приладу.

Програмне забезпечення цифрових нівелірів дає змогу одразу після наведення приладу на рейки одержати перевищення та відмітки точок нівелювання. Повторні вимірювання практично виключаються внаслідок автоматичного визначення похибок і введення поправок. Програмним забезпеченням деяких сучасних цифрових нівелірів передбачено врівноваження вимірювань. Загалом цифрові нівеліри дають можливість повернутися до перерваних вимірювань. Панелі керування приладів слугують також для алфавітно-цифрового введення номерів та кодів точок і різновидів додаткової інформації. Результати вимірювань та їхнього опрацювання можуть бути занесені до карт пам'яті або до внутрішньої пам'яті приладу. Цифрові нівеліри зазвичай споряджені компенсаторами нахилу. Разом із автоматичним режимом цифровими нівелірами можна виконувати візуальне нівелювання як оптичними нівелірами, застосовуючи рейки із традиційними шкалами, звичайно, з меншою точністю. Вважають, що використання цифрових нівелірів підвищує продуктивність виконуваних робіт на 50%. На сучасному етапі

використовуються цифрові нівеліри, що мають похибку від 0,3...1,0 мм/км. Цифрові нівеліри виготовляють провідні фірми світу Trimble-Zeiss, Sokkia та інші. За точністю цифрові нівеліри можна характеризувати як високоточні та точні.



Рис 1.2.1. Електронний нівелір SOKKIA SDL1X

Рис.1.2.2. Високоточний нівелір DNA 03

Також виокремлюють лазерні нівеліри, лазерні сканери(рис.1.2.3), які безпосередньо здебільшого використовують для виконання будівельних робіт. Приклад сканування лазерним сканером наведено на рисунку 1.2.4.



Рис 1.2.3-Лазерний сканер «Leica Scanstation P20»

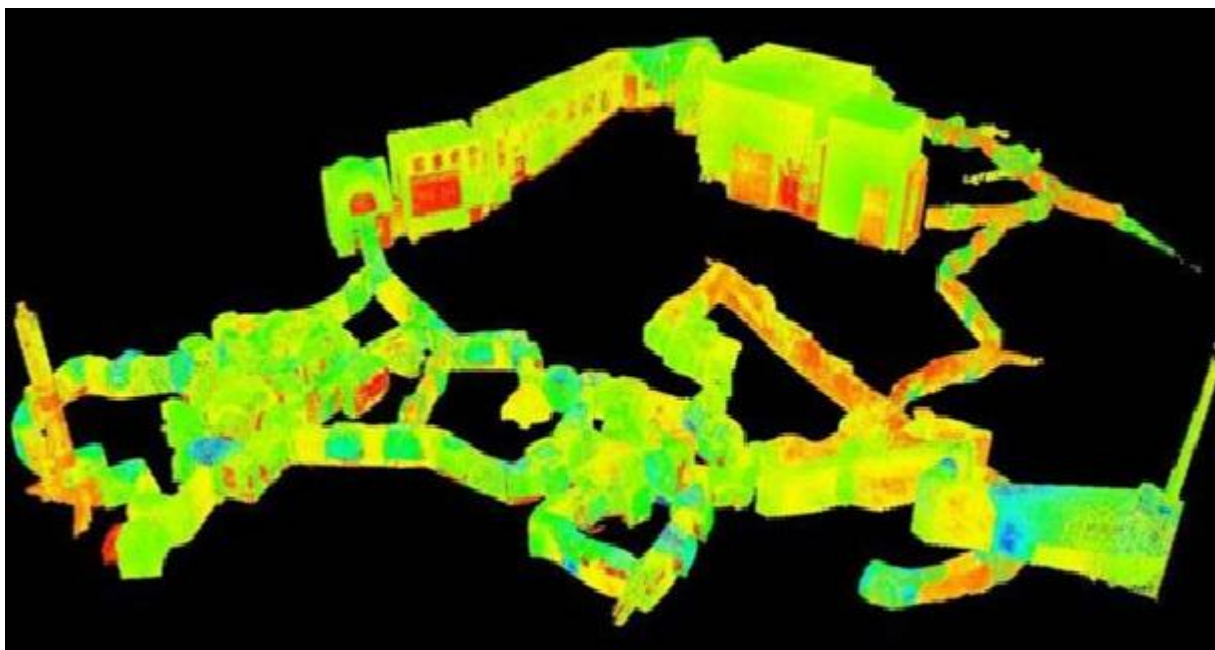


Рис 1.2.4. Фрагмент сканування лазерним сканером

Лазерні нівеліри дещо умовно можна поділити на наступні види. Перший з них – це власне традиційні оптичні нівеліри з лазерними насадками. У другому виді лазер і зорова труба розташовані в одному корпусі. Вісь лазерного випромінювання паралельна до візирної осі зорової труби, але не суміщена з нею. Паралельне розташування візирної осі та осі лазерного випромінювання є істотним недоліком конструкції нівеліра цього виду. Паралельність двох згаданих осей доводиться контролювати під час вимірювань і вводити поправки у їхні результати. Це є додатковим джерелом похибок. У третьому виді приладів – колімаційного типу цей основний недолік попереднього виду нівеліра подолано.



Рис.1.2.3. Лазерний нивелір Bosch GLL 3-80 P Professional + L- Boxx

В дорожній галузі лазерне сканування (рис. 1.2.4) ефективно застосовується у трьох широких областях: інженерно–геодезичні вишукування при проектуванні і виконавчої зйомці; для паспортизації, інвентаризації існуючої інфраструктури; для створення ГІС та геопросторових баз дорожніх даних.



Рис.1.2.4-Виконання зйомки мобільним лазерним сканером

1.3 Супутникові системи визначення координат (GNSS-приймачі)

GPS-вимірювання дозволяють ефективно вирішувати такі завдання геодезичного моніторингу як створення опорних мереж та виконання

знімальних робіт. Вони мають низку переваг перед традиційними геодезичними методами. Геодезичні спостереження з використання GPS обладнання можна виконувати у будь-який час доби, у будь-яку погоду, при відсутності прямої оптичної видимості між точками. Прилади працюють в автоматичному режимі та в результаті моніторингу одночасно визначаються всі три координати точки їх стояння.

Пристрої, що використовують у своїй роботі сигнал із супутників GPS, можна розділити на професійні, що володіють високою точністю визначення місцеположення і побутові. Перші в основному використовуються у військових цілях, для геодезії і картографії, а другі отримали широке застосування в різних сферах сучасного життя. Професійне GPS обладнання (рис. 48) відрізняється якістю виготовлення компонентів (особливо антен), використанням програмним забезпеченням (ПЗ), підтримуваними режимами роботи (наприклад RTK, binary data output), робочими частотами ($L1 + L2$), алгоритмами придушення інтерференційних залежностей, сонячної активності (вплив іоносфери), підтримуваними системами навігації (наприклад NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou), збільшеним запасом електроживлення і зрозуміло, ціною.

Достовірність інформації залежить не тільки від приладів, а також від професіоналізму виконавців даного виду робіт. Послуги інженерної геодезії необхідні не тільки під час будівельного процесу, а й під час експлуатації



будівель та споруд.

Рис.1.3.1. GPS приймач - LEICA GS08 Plus RTK

1.4 Прилади для топографічної зйомки (дрони, фототеодоліти)

Безпілотні аерофотознімальні вертольоти Aibotix X6 (рис.1.4.1) представляють собою нове покоління літаючих роботизованих вимірників для широкого спектру завдань (від індустріальної інспекції до завдань повітряного



картографування).

Рис.1.4.1. Безпілотні аерофотознімальні вертольоти Aibotix X6

Поєднання надійного дизайну, сучасних мультироторних технологій, роботизованості, простоти використання і широкого ряду додаткових датчиків використання Aibotix X6 дозволяє виконання різного роду завдань, серед яких можна виділити такі, як:

- індустріальна інспекція – інспекція високовольтних силових ліній, запрограмований шлях польоту для безпечного моніторингу або детектування місця перегріву сонячних акумуляторних панелей, що надає неперевершений рівень безпеки в поєднанні з балансом продуктивності;
- картографування – завдяки найсучаснішим технологіям у сфері безпілотної техніки можливо в найкоротші терміни здійснювати знімання,

обробку і отримання ортофотопланів, моделей поверхонь або 3D моделей без попередніх навичок польотів;

- фотограмметрія для цілей знімання, розвідки або реагування на надзвичайні ситуації з необхідною перспективою і якістю.

Аерофотознімальний комплекс GeoScan 101 (рис.1.4.2) призначений для оперативного отримання ортофотопланів, матриць висот і 3D-моделей місцевості та окремих об'єктів. Комплексна технологія призначена для разового або періодичного моніторингу об'єктів великої площі або протяжності (трубопроводи, кар'єри, відвали, будівельні майданчики).



Рис.1.4.2. Аерофотознімальний комплекс GeoScan 101

РОЗДІЛ 2

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ

2.1. Основні принципи та роль метрологічного дослідження геодезичних приладів

Сучасна геодезична практика неможлива без високої точності вимірювань, що вимагає використання технічно справного та перевіреного обладнання. Саме метрологічне дослідження забезпечує об'єктивну оцінку стану геодезичних приладів, дозволяючи виявити відхилення у їхній роботі, усунути похибки та гарантувати сталість результатів вимірювання. Такий підхід необхідний для досягнення достовірних результатів у топографічних, кадастрових, будівельних та інженерно-геодезичних роботах.

Метрологічне забезпечення [1, с. 620] включає низку технічних і процедурних дій, серед яких ключовими є калібрування, повірка, атестація та регламентне обслуговування, які наведені в таблиці 2.1.1.

Таблиця 2.1.1. — Етапи метрологічного забезпечення

Етап	Опис
Калібрування	Визначення систематичних похибок шляхом порівняння з еталоном
Повірка	Офіційне підтвердження відповідності технічним вимогам
Атестація	Комплексна оцінка технічного стану
Регламентне обслуговування	Підтримання стабільної роботи протягом строку служби

Калібрування полягає у звірванні вимірювальних характеристик приладу з відомими значеннями еталону, що дозволяє визначити та усунути систематичні похибки. Повірка — це офіційна процедура, яка засвідчує, що прилад

відповідає технічним та метрологічним вимогам. Атестація є більш широким поняттям і передбачає комплексну оцінку технічного стану пристрою для встановлення його відповідності умовам експлуатації. Регулярне технічне обслуговування, у свою чергу, гарантує стабільну роботу обладнання протягом усього строку служби, регулярність перевірок наведена в таблиці 2.1.3.

Таблиця 2.1.3. —Регулярність технічного обслуговування

Тип приладу	Частота повірки	Допустима похибка	Метод контролю
Тахеометр	1 раз/рік	$\pm(2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm})$	Вимірювання еталонної бази
Нівелір	1 раз/6 міс.	$\pm 1.5 \text{ мм/км}$	Двохпрохідна нівеляція
Теодоліт	1 раз/рік	$\pm 10''$	Кутові вимірювання

Метрологічний контроль базується на низці принципів, які наведені в таблиці 2.1.2. Перш за все, усі дії повинні відповідати чинним державним та міжнародним стандартам. Результати вимірювань мають бути точними, повторюваними та незалежними від зовнішніх факторів, таких як кваліфікація оператора чи умови навколишнього середовища. Важливо також дотримуватись визначеної періодичності перевірок. Окрему увагу слід приділяти фіксації результатів — кожна перевірка або калібрування має супроводжуватись складенням технічного протоколу або акту. Ці принципи спрямовані на досягнення максимальної достовірності даних, що використовуються для розрахунків, проектування або контролю.

Таблиця 2.1.2. —Принципи метрологічного контролю

Принцип	Суть
Відповідність стандартам	Виконання вимог державних та міжнародних норм
Точність	Забезпечення мінімальної похибки
Повторюваність	Стабільність результатів при повторних вимірюваннях
Незалежність	Мінімізація впливу зовнішніх факторів
Документування	Складання протоколів перевірок

Практична цінність метрологічного дослідження полягає у забезпеченні точності та стабільності вимірювань. За його допомогою можна суттєво знизити ризик виникнення помилок на етапі виконання геодезичних робіт, підвищити загальну ефективність процесу та уникнути повторних вимірювань або переробки даних. Крім того, завдяки дотриманню вимог нормативної документації, результати вимірювань набувають юридичної сили та можуть бути використані в офіційних документах. Це особливо важливо при здійсненні кадастрових зйомок або контролі за будівельними об'єктами. Вчасне виявлення несправностей або зниження точності приладу також дозволяє зекономити ресурси та уникнути матеріальних збитків.

Під час калібрування тахеометра використовують спеціальну еталонну базу — відстань між точками на цій базі точно відома. Тахеометр вимірює відстань, після чого отримані дані порівнюють із еталонними значеннями. У разі виявлення відхилень, прилад налаштовують або відправляють на технічне обслуговування. Також є перевірка нівеліра, що виконується шляхом визначення перевищення між двома точками з подальшим порівнянням результатів при

прямому та зворотному ході. Якщо похибка перевищує допустиме значення, прилад підлягає налаштуванню або ремонту.

У практиці метрології також застосовують різноманітні схеми та таблиці для візуалізації процесів перевірки. Типова схема послідовності дій при метрологічному контролі включає: початкову оцінку стану приладу, калібрування, повірку, атестацію та фінальне документування результатів. У спеціалізованих таблицях зазначається тип приладу, рекомендована частота перевірки, допустимі похибки та рекомендовані методи дослідження. Так, для тахеометрів рекомендується повірка щонайменше раз на рік з допустимою похибкою у межах $\pm(2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm})$, для нівелірів — один раз на пів року з максимально допустимим відхиленням $\pm 1.5 \text{ мм}$ на 1 км подвійному ходу.

Таким чином, метрологічне дослідження є не просто формальною вимогою, а ключовою умовою для досягнення високої точності в геодезичних роботах. Його впровадження дозволяє не тільки уникати технічних помилок, а й створює передумови для стабільної, ефективної та безпечної діяльності у сфері вимірювань.

2.2. Калібрування та повірка геодезичних приладів

Точність геодезичних вимірювань [1,с.638] безпосередньо залежить від правильного стану обладнання, що вимагає регулярного калібрування та обов'язкової повірки приладів. Проведення цих процедур гарантує достовірність результатів та відповідність встановленим технічним стандартам. Калібрування передбачає порівняння характеристик вимірювання пристрою із відомими еталонними величинами для виявлення систематичних похибок і подальшого коригування. Основні етапи процесу калібрування наведені в таблиці 2.2.1.

Таблиця 2.2.1 — Основні етапи калібрування геодезичних приладів

Етап	Характеристика
Підготовка обладнання	Очищення приладу, приведення його до робочого стану
Підбір еталонних засобів	Використання сертифікованого обладнання для перевірки
Виконання калібрувальних вимірювань	Зняття показників для подальшого аналізу
Визначення похибок	Співставлення даних вимірювання із еталонними
Корекція або налаштування	Налаштування параметрів приладу або визначення поправок
Оформлення результатів	Видача калібрувального сертифіката або технічного протоколу

Повірка є обов'язковою процедурою офіційного підтвердження того, що технічні та метрологічні характеристики приладу відповідають установленим нормативам. Її проводять спеціалізовані органи метрологічного контролю або акредитовані лабораторії. Залежно від мети та ситуації, виділяють різні типи повірок, що наведені в таблиці 2.2.2.

Таблиця 2.2.2 — Основні види повірки геодезичних приладів

Тип перевірки	Короткий опис
Первинна повірка	Здійснюється перед введенням обладнання в експлуатацію
Періодична повірка	Виконується через встановлені інтервали часу
Позачергова повірка	Проводиться після ремонту або при

	зміні умов експлуатації
--	-------------------------

Особливості проведення калібрування та повірки залежать від типу геодезичного обладнання, що використовується. У таблиці 2.2.3 систематизовано основні методи перевірки та періодичність процедур для різних приладів.

Таблиця 2.2.3 — Методи калібрування і повірки геодезичних приладів

Тип приладу	Метод калібрування	Метод повірки	Періодичність
Тахеометр	Перевірка за еталонною базою	Порівняння результатів вимірювання з еталоном	Щорічно
Нівелір	Оцінка горизонтальності візирної осі	Нівелювання подвійним ходом	Кожні 6 місяців
Теодоліт	Визначення точності кутових вимірювань	Контроль за допомогою тестових об'єктів	Щорічно

Розглянемо приклади практичного проведення цих процедур. Під час калібрування тахеометра прилад встановлюють на спеціально підготовленій базі з відомою відстанню між точками. Після вимірювання дані порівнюють із еталонними значеннями, і у разі виявлення розбіжностей виконують налаштування пристрою. Аналогічно, під час повірки нівеліра виконується подвійна нівеляція між двома реперами прямим та зворотним ходом. Якщо різниця результатів перевищує нормативне значення $\pm 1,5$ мм на 1 км, необхідно провести регулювання або ремонт приладу.

Процеси калібрування та повірки мають свою стандартну послідовність. Калібрування зазвичай починається з підготовки приладу, далі проводиться зняття вимірювань та аналіз відхилень, після чого виконується корекція і оформлюється відповідний документ. У свою чергу, повірка включає етапи перевірки стану пристрою, проведення тестових вимірювань, оцінку відповідності технічним вимогам та складання акту.

Отже, систематичне проведення калібрування та повірки геодезичних приладів є обов'язковим заходом для забезпечення високої точності польових вимірювань. Виконання цих процедур значно знижує ризик помилок, підвищує надійність результатів та сприяє дотриманню професійних стандартів у сфері геодезії.

2.3. Стандарти та нормативи метрологічного забезпечення

Якість і надійність геодезичних вимірювань безпосередньо залежать від суворого дотримання стандартів та нормативів [2], що регламентують методики, точність, порядок перевірки і калібрування вимірювального обладнання. Метрологічне забезпечення у геодезії виступає основою для підтримання високої точності даних, їх повторюваності та юридичної чинності в технічній, кадастровій, будівельній та науковій сферах.

Головними джерелами вимог у цій сфері [2] є міжнародні стандарти ISO серії 17123, національні стандарти України ДСТУ, регламенти Державної системи забезпечення єдності вимірювань (ДСЗВУ), а також розпорядчі документи центральних органів виконавчої влади. Вони визначають допустимі межі похибок, процедури повірки та калібрування, а також правила ведення метрологічної документації.

У таблиці 2.3.1 наведено приклади ключових нормативно-правових актів, які застосовуються у сфері метрологічного контролю геодезичних приладів:

Таблиця 2.3.1 — Основні нормативно-правові документи метрологічного забезпечення

Норматив або стандарт	Основні положення
ISO 17123 (1–8)	Стандарти польових випробувань тахеометрів, нівелірів, теодолітів
ДСТУ OIML R 76	Визначає вимоги до засобів вимірювання маси, що можуть бути застосовані у геодезії
ДСТУ 7168:2010	Описує методики калібрування тахеометрів
ДСТУ Б В.2.7-8-94	Встановлює вимоги до точності нівелірів та теодолітів
Накази Мінекономіки України	Регламентують порядок повірки вимірювальних приладів

Ці документи встановлюють як технічні характеристики приладів, так і вимоги до процедури оцінювання їх технічного стану, періодичності контролю, а також параметрів точності у різних умовах використання.

Важливо зазначити, що стандарти передбачають розподіл геодезичних приладів за класами точності [3] відповідно до завдань, для яких вони призначені. Це дозволяє правильно обирати обладнання залежно від необхідного рівня точності вимірювань. Основні класи точності та допустимі похибки наведено у таблиці 2.3.2:

Таблиця 2.3.2 — Класи точності геодезичних приладів

Прилад	Клас точності	Максимально допустима похибка
Тахеометр	Високоточний	$\pm(1-2 \text{ мм} + 1-2 \text{ ppm})$
Теодоліт	Прецизійний	$\pm 2''-5''$
Оптичний нівелір	Технічний	$\pm 2.5 \text{ мм/км}$ подвійному ходу
Цифровий нівелір	Високоточний	$\pm 0.7 \text{ мм/км}$ подвійному ходу

Відповідно до нормативних вимог, усі результати калібрування та повірки повинні бути документально підтверджені шляхом складання відповідних актів або сертифікатів. Наявність таких документів забезпечує легітимність отриманих даних у межах офіційної діяльності. Основні обов'язкові реквізити метрологічних документів зведено в таблицю 2.3.3:

Таблиця 2.3.3 — Обов'язкові елементи актів і сертифікатів повірки

Елемент документа	Опис
Ідентифікація приладу	Тип, модель, серійний номер, виробник
Дата процедури	День, місяць і рік проведення повірки або калібрування
Характеристики вимірювання	Перелік параметрів, що перевірялись
Виміряні результати	Фактичні значення та відхилення від еталону
Висновок	Придатність або непридатність приладу
Підписи і печатка	Підтвердження фахівця та акредитованої установи

Щоб забезпечити постійний контроль за станом геодезичних приладів, нормативи встановлюють також рекомендовану періодичність повірок.

Крім зазначених вимог, сучасні міжнародні тенденції також передбачають впровадження систем управління якістю відповідно до стандарту ISO 9001, що містить спеціальні розділи щодо контролю засобів вимірювальної техніки. Це додатково гарантує високу якість вимірювань, підвищує довіру до результатів робіт і створює передумови для їх визнання за межами національних кордонів.

Тому стандарти та нормативи метрологічного забезпечення є невід'ємною частиною ефективної роботи у сфері геодезії. Їх дотримання дозволяє не тільки мінімізувати похибки і уникнути недостовірних результатів, а й забезпечити збереження матеріальних ресурсів, прискорити процес виконання проектів та підвищити якість геодезичних послуг загалом.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОВІРКИ ЕЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА ZTS – 320R

3.1. Загальна характеристика тахеометра ZTS – 320R

Тахеометр ZTS – 320R [5,с.7] (технічні характеристики наведені в таблиці 3.1.1) належить до цифрових електронних приладів, що використовуються для комплексних геодезичних вимірювань [5,с.64]. Він здатен визначати просторові координати точок методом безвідбивального вимірювання відстаней та обчислення горизонтальних і вертикальних кутів. Завдяки вбудованому мікропроцесору й розширеним функціям, прилад дозволяє виконувати польові обчислення (координати, відстані, площі, висоти) в режимі реального часу.

Серед важливих характеристик приладу:

- компенсатор двохосовий, що автоматично виправляє відхилення від вертикалі.

- програмне забезпечення, яке дає змогу виконувати зворотні засічки, лінійні розбивки, вимірювання недоступних точок.

- збереження даних у пам'яті приладу — до 10 000 точок, з можливістю передачі на ПК.

- підтримка зовнішніх контролерів через Bluetooth, що дає змогу підключення до CAD/GIS-систем.

Таблиця 3.1.1 – Технічні характеристики тахеометра ZTS – 320R

Параметр	Значення
Точність вимірювання кутів	$\pm 2''$
Мінімальна ціна поділки	1''
Дальність вимірювання без відбивача	до 400 м

Дальність з призмою	до 5 000 м
Час вимірювання	<1 с
Лазерний клас	Клас 2 (безпечний)
Пам'ять внутрішня	до 10 000 точок
Автономність роботи	до 8 годин безперервного вимірювання
Габарити	160 × 150 × 350 мм
Вага	близько 5 кг

У наступній таблиці наведемо технічні характеристики популярних тахеометрів (для порівняння) (таблиця 3.1.2):

Таблиця 3.1.2- Технічні характеристики тахеометрів Leica TS06 Plus та Topcon ES-105

Параметр	Leica TS06 Plus	Topcon ES-105
Точність вимірювання кутів	±1" або ±5"	±5"
Дальність без відбивача	до 500 м	до 500 м
Дальність з відбивачем	до 3500 м	до 4000 м
Пам'ять	24 000 точок	10 000 точок
Автономність	6–8 годин	10 годин
Інтерфейс	USB, Bluetooth	USB, Bluetooth
Маса	5,5 кг	5,3 кг

3.2. Методи дослідження точності вимірювань

Контроль точності тахеометра базується на використанні науково обґрунтованих методів дослідження (наведені в таблиці 3.2.1) , що дозволяють виявити систематичні, випадкові та грубі похибки.

1. Метод багаторазових вимірювань

Передбачає проведення серії вимірювань тієї самої величини. Наприклад, 10 вимірювань горизонтального кута між двома орієнтирами. За результатами визначається середнє значення, середньоквадратичне відхилення та оцінюється стабільність вимірювання.

2. Порівняння з еталонним приладом

Для калібрування та перевірки проводять паралельні вимірювання тахеометром ZTS – 320R та еталонним високоточним тахеометром (наприклад, Leica або Trimble), результати яких порівнюються.

3. Аналіз похибок у різних умовах середовища

Визначення зміни результатів при впливі температури, вологості, освітленості. Наприклад, при підвищенні температури понад 30°C лазерний промінь може викривлюватися, що впливає на точність вимірювання відстані.

Таблиця 3.2.1 – Результати досліджень точності вимірювань тахеометра
ZTS – 320R

Метод дослідження	Середня похибка (мм)	Коментар
Багаторазове вимірювання	± 2.1	Висока стабільність результатів
Порівняння з еталоном	± 1.7	Незначне відхилення
Зовнішні впливи	до ± 3.5	Залежить від метеоумов

3.3. Повірка електронного тахеометра

Ціль повірки підтвердити придатність приладу до вимірювань згідно з ДСТУ EN ISO 17123 та іншими нормами. Повірка має проводитися не рідше одного разу на рік або після кожного ремонту приладу(результати повірок наведені в таблиці 3.3.1) .

Повний цикл повірки охоплює:

-контроль точності горизонтального кола – шляхом вимірювання відомого кута між пунктами;

-тест компенсації нахилів – визначення здатності компенсатора автоматично вирівнювати похибки;

-перевірку далекоміра – на спеціальному калібрувальному полігоні з точно виміряними базами;

-тестування дисплея та клавіатури – на справність введення даних;

-аналіз живлення – чи зберігає прилад налаштування після виключення.

Таблиця 3.3.1 – Метрологічні повірки для ZTS – 320R

Операція повірки	Опис процедури	Без дефектів
Візуальний огляд	Корпус, оптика, тріщини	Без дефектів
Горизонтальний кут	Похибка не перевищує $\pm 2''$	В нормі
Відстань до 1000 м	Відхилення не перевищує 2 мм + 2 ppm	В нормі
Компенсатор	Працює стабільно, не перевищує допустиме зміщення	Придатний
Робота екрана, клавіш	Всі функції активні, без збоїв	В нормі

Для перевірки технічного стану та юстування електронного тахеометра необхідно зайти його відповідне меню. Залежно від типу приладу, це меню часто називають «Повірка» або «Калібрування», але такими воно не є. В цьому меню, зазвичай, можна перевірити електронний рівень, колімаційну похибку та місця нуля (місця зеніту). Для деяких типів приладів [6, с.198] в меню міститься перевірка неперпендикулярності осі обертання зорової труби та осі обертання тахеометра. Зауважимо, хоч це є важливий, але не повний перелік операцій з перевірки технічного стану тахеометра!

В загальному випадку для електронного тахеометра виконують наступні операції з перевірки його технічного стану:

1. Перевірка рівня (циліндричного та/або електронного);
2. Перевірка компенсатора та діапазону його роботи;
3. Перевірка сітки ниток;
4. Перевірка колімаційної похибки;
5. Перевірка місця нуля (місця зеніту);
6. Перевірка неперпендикулярності осі обертання зорової труби та осі обертання тахеометра;
7. Перевірка оптичного або лазерного центру (оптичного виска);
8. Перевірка константи комплексу тахеометр – відбивач;
9. Перевірка співпадіння осі електронного віддалеміра та візирної осі.

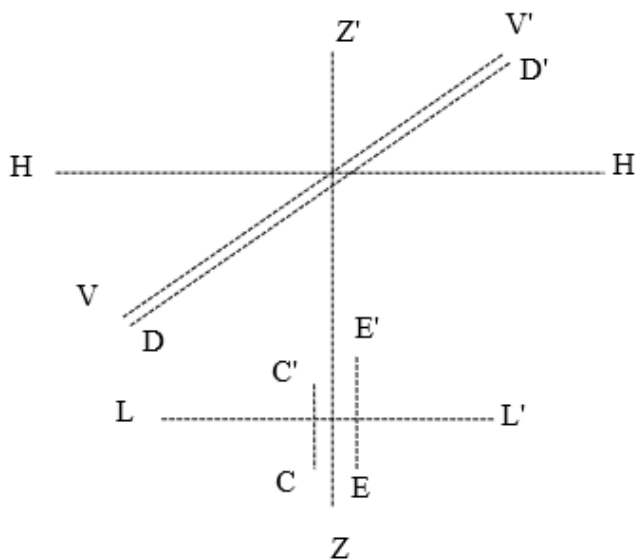
Зазначені вище операції з перевірки технічного стану тахеометра важливо виконувати в тій послідовності, в якій вони наведені у переліку, оскільки в електронних тахеометрах присутній взаємний вплив геометричних параметрів один на інший. Тобто юстування одного геометричного параметра може викликати суттєву зміну іншого. Виконуючи польові перевірки за наведеним

порядком, геодезист почергово виявляє недопустимі відхилення та шляхом юстування вводить геометричні параметри тахеометра в допустимі межі.

Рекомендовано використовувати різну періодичність виконання різних операцій з перевірки технічного стану тахеометрів. Так перевірку рівня, компенсатора, колімаційної похибки та місця нуля (місця зеніту) рекомендовано виконувати раз на добу. За сталих умов зберігання та експлуатування термін можна збільшити до декількох діб. За різкої зміни зовнішніх умов, особливо зміни температури, сильної сонячної радіації, сильного вітру, наявності сильної вібрації від працюючої поряд техніки, удару по штативу або приладу тощо, ці перевірки рекомендовано виконувати два або три рази на день.

Перевірку сітки ниток, неперпендикулярності осей, центриру та константи відбивача та співпадіння осі електронного віддалеміра та візирної осі рекомендовано виконувати після тривалої перерви в експлуатуванні, після тривалого транспортування, сильного удару по приладу, наприклад, падіння та не рідше ніж раз на місяць під час інтенсивного експлуатування.

Перед початком розгляду операцій з перевірки технічного стану та



юстування розглянемо схему осей електронного тахеометра (рис. 3.3.1).

Рис. 3.3.1 Схема осей електронного тахеометра

На рис. 3.3.1 зображено наступні осі:

ZZ' – вісь обертання електронного тахеометра;

NN' – вісь обертання зорової труби електронного тахеометра; VV' – візирна вісь електронного тахеометра;

LL' – вісь циліндричного рівня (за наявності);

EE' – вісь електронного рівня (електронного компенсатора); DD' – вісь віддалеміра;

CC' – вісь центриру.

Під циліндричним рівнем мається на увазі скляний ампульний рівень, а під електронним – оптико- електронний пристрій, який постійно вимірює кут нахилу осі обертання тахеометру. Електронний рівень можуть також називати електронним компенсатором, хоча він нічого не компенсує, а діє по іншому. В сучасних тахеометрах застосовується тільки двоосьовий електронний компенсатор, який вимірює кут нахилу осі обертання у двох взаємно перпендикулярних площинах. За цими вимірюваннями, в автоматичному режимі, вводяться поправки в виміряні вертикальні та горизонтальні кути. Покази електронного компенсатора виводяться на екран тахеометра, що дозволяє проводити горизонтування тахеометра та юстування компенсатора.

Під час перевірки технічного стану електронного тахеометра, геодезист перевіряє взаємне положення зазначених осей. Розглянемо детально процес виконання кожної перевірки.

1. Перевірка рівня (циліндричного та/або електронного)

В процесі перевірки технічного стану електронного та/або циліндричного рівня тахеометра перевіряють той рівень, який використовується у роботі під

час його горизонтування. Так якщо горизонтування тахеометра виконується з використанням електронного циліндричного рівня, перевіряти необхідно його. Залежно від виду рівня умова, яка контролюється, формулюється по різному.

Для електронного рівня:

Вісь електронного рівня повинна бути паралельною осі обертання тахеометра.

Для циліндричного рівня:

Вісь циліндричного рівня повинна бути перпендикулярною осі обертання тахеометра.

Перевірка виконується у три етапи:

а) встановити циліндричний рівень (клавіатуру тахеометра) паралельно двом підйомним гвинтам. Обертаючи підйомні гвинти у протилежні напрямки, привести рівень на центр;

б) повернути тахеометр на 90° . Обертаючи третій підйомний гвинт, привести рівень на центр, за необхідності, повторити п. а);

в) повернути тахеометр на 180° , рівень не повинен зміститись від центра більше ніж на $\frac{1}{2}$ поділки.

У випадку зміщення більшого за $\frac{1}{2}$ поділки, рівень необхідно юстувати. Зазначимо, що для більшості моделей тахеометрів юстування циліндричного рівня може виконати користувач. Для деяких моделей юстування циліндричного рівня виконується в сервісних центрах. Половину зміщення циліндричного рівня прибирають підйомними гвинтами тахеометра, іншу – юстувальними гвинтами рівня.

2. Перевірка компенсатора та діапазону його роботи

Вісь електронного компенсатора повинна бути паралельною осі обертання тахеометра. Перевірка компенсатора більшості електронних

тахеометрів виконується у відповідному пункті меню. За умовами виконання перевірки необхідно навестись та занести відлік у пам'ять електронного тахеометра на ціль, що знаходиться на відстані не менше 100 м та під кутом до горизонту $0^\circ \pm 3^\circ$. Наведення необхідно зробити спочатку при КЛ, потім при КП. Тахеометр виконає необхідні обчислення та, у випадку виходу отриманих значень за допустимі межі, запропонує виконати їх юстування. Точність вимірювань вертикальних кутів залежить від відповідності технічних характеристик компенсатора встановленим вимогам нормованим в ДСТУ 8955. Під час виконання польових робіт виконавець повинен періодично контролювати ці параметри, особливо діапазон роботи компенсатора.

Для компенсатора повинні виконуватись важливі умови:

- діапазон роботи компенсатора повинен бути симетричним відносно осі обертання тахеометра у його робочому положенні.

- відлік за вертикальним кругом тахеометра під час нахиляння його осі обертання може змінюватись в межах нормованої похибки роботи компенсатора.

Встановлюють та відгоризонтовують тахеометр так, щоб один з його підйомних гвинтів був направлений на візирну ціль, розташовану приблизно на відстані 100 метрів від тахеометра. Наведіть горизонтальну нитку сітки ниток на візирну ціль і візьміть відлік за вертикальним кругом. Нахиліть тахеометр вперед, обертаючи підйомний гвинт направлений на візирну ціль приблизно на $1' \dots 2'$. Візьміть відлік за вертикальним кругом. Поверніть тахеометр у вертикальне положення і наведіть сітку ниток і візьміть відлік за вертикальним кругом. Нахиліть тахеометр приблизно на $1' \dots 2'$ назад так само і візьміть відлік за вертикальним кругом після наведення.

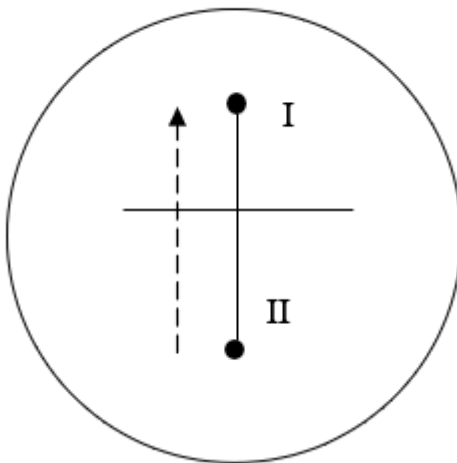
Нахиляють тахеометр так само двома підйомними гвинтами вліво та вправо. Сітка ниток може зміститись вліво чи вправо. Наведіть її на візирну ціль і візьміть відлік.

Якщо під час нахиляння тахеометра відлік за вертикальним кругом різко змінився, то це означає, що компенсатор вийшов за межі діапазону роботи і підлягає ремонту в сервісному центрі.

Систематична та випадкова складові похибки роботи компенсатора можуть бути надійно визначені тільки на еталонному обладнанні у повірочній або калібрувальній лабораторії. Якщо під час нахилянь тахеометра відліки помітно різняться за працюючого компенсатора, наприклад, різниці помітно більші за потроєну середню квадратичну похибку вимірювань тахеометром, то тахеометр бажано надати на позачергову перевірку чи калібрування.

3. Перевірка сітки ниток

Вертикальна нитка сітки ниток повинна бути паралельною осі обертання тахеометра [1]. Перевірка виконується у наступному порядку. Навестись на ціль верхнім торцем сітки ниток та закріпити тахеометр (рис. 3.3.2). Повільно піднімаючи зорову трубу тахеометра пересвідчитись що ціль не відхилилась від



середини нижнього торця сітки ниток (рис. 3.3.2)

Рис. 3.3.2 Перевірка сітки ниток електронного тахеометра

В сучасних тахеометрах під час юстування сітки ниток можна порушити їх герметичність, тому юстування після цієї перевірки рекомендуємо виконувати у сервісних центрах.

4,5. Перевірка колімаційної похибки та місця нуля (місця зеніту)

Геометрична умова колімаційної похибки:

-візирна вісь тахеометра повинна бути перпендикулярною осі обертання його зорової труби.

Геометрична умова місця нуля (місця зеніту):

-нуль вертикального круга тахеометра повинен бути в горизонті (зеніті).

Оскільки ці перевірки у більшості електронних тахеометрів виконуються одночасно, в одному пункті меню, розглянемо їх разом. За умовами виконання перевірки необхідно навестись та занести відлік на ціль у пам'ять електронного тахеометра, що знаходиться на відстані не менше 100 м та під кутом до горизонту $0^\circ \pm 3^\circ$. Наведення необхідно зробити спочатку при КЛ, потім при КП.

Тахеометр виконає необхідні обчислення та, у випадку виходу отриманих значень за допустимі межі, запропонує виконати їх юстування (занесення правильних значень у пам'ять та їх використання у майбутніх вимірюваннях).

Як було сказано вище, оскільки процес виконання даної перевірки співпадає із перевіркою компенсатора, відбувається взаємний вплив між параметрами компенсатора і вертикального круга. Для коректного визначення всіх геометричних параметрів електронного тахеометра, ми рекомендуємо після виконання цієї перевірки виконати перевірку компенсатора ще раз.

6. Перевірка неперпендикулярності осі обертання зорової труби та осі обертання тахеометра

Вісь обертання зорової труби тахеометра повинна бути перпендикулярною його осі обертання.

Зазвичай дана перевірка присутня лише у високоточних тахеометрів або тахеометрів фірми Leica Corp. Якщо перевірка присутня у меню тахеометра, всі обчислення буде виконано електронно-обчислювальним пристроєм тахеометра, в іншому випадку їх повинен виконати геодезист.

За умовами виконання перевірки необхідно навестись та зняти відлік, або занести його у пам'ять електронного тахеометра, на ціль, що знаходиться на під кутом до горизонту не менше 20° та на відстані, бажано, не менше 100 м. Наведення необхідно зробити спочатку при КЛ, потім при КП. Додатково необхідно виконати вимірювання кута нахилу на ціль. Цю перевірку можна виконувати тільки після виконання юстування колімаційної похибки за п. 4.

Кут неперпендикулярності зазначених осей визначається за формулою:

$$i = \frac{(КЛ - КП \pm 180^\circ)}{2} \text{ctg} V$$

де v - виміряний кут нахилу на ціль,

КЛ, КП – відліки за горизонтальним кругом тахеометра при КЛ та КП відповідно.

Юстування даного геометричного параметру виконується тільки у сервісних центрах. Для деяких типів тахеометрів є можливість занести значення неперпендикулярності до його пам'яті. Тоді, під час вимірювань тахеометр буде сам виправляти відлік за горизонтальним кругом тахеометру, як при КЛ, так і при КП. Це значно підвищує точність вимірювань тільки одним кругом.

7. Перевірка оптичного або лазерного центриру (оптичного виска)

Вісь центриру повинна співпадати із віссю обертання тахеометра.

Перевірка виконується наступним чином:

а) виконати центрування та горизонтування тахеометра над точкою та, обертаючи його кругом осі, перевірити, чи не зміщується візирна вісь тахеометра з точки;

б) якщо зміщується, закріпити на точці папір і відмітити на ньому положення візирної осі центриру за положення тахеометру 0° ;

б) відмітити положення візирної осі тахеометру при його положенні 120° і 240° та відмітити центр трикутника.

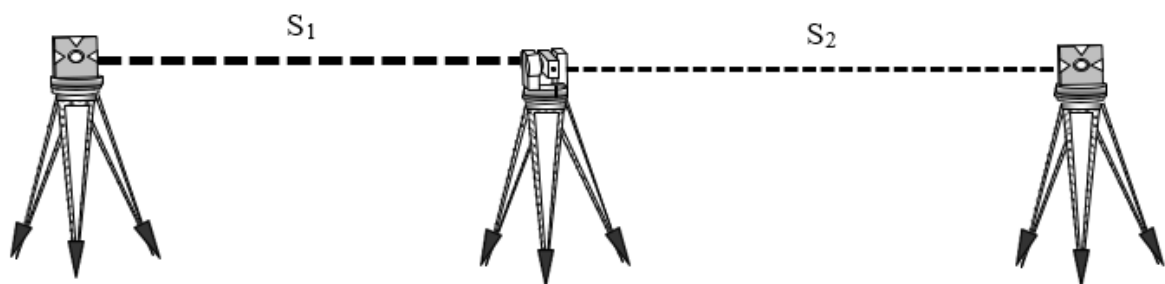
Юстування оптичного центриру виконується юстувальними гвинтами центриру. Обертаючи юстувальні гвинти наводять візирну вісь центриру (оптичного виска) тахеометра на центр трикутника.

В деякій моделі електронних тахеометрів використовують лазерні центрири (наприклад, в деяких тахеометрах фірми Leica). В цьому випадку юстування центриру рекомендуємо виконувати у сервісних центрах.

8. Перевірка константи комплекту тахеометр – відбивач

Вимірювання відстані між тахеометром та відбивачем повинно виконуватися від точки перетину горизонтальної та вертикальної осі обертання тахеометра до точки перетину аналогічних осей відбивача. Виробники приладів, ремонтні та сервісні підприємства намагаються сконструювати, виготовити та налагодити прилад з урахуванням наведеної вище вимоги. Однак, внаслідок дії механічних похибок виготовлення тахеометрів та відбивачів, а також зміни електронних налаштувань тахеометра, точка перетину осей не збігається з точкою від якої тахеометр вимірює віддаль. Ця константа регулюється на певний відбивач, але інший відбивач може мати інші геометричні розміри, і константа на нього може бути інша. Особливо це стосується відбивачів іншого виробника геодезичних приладів.

Перевірка константи комплекту тахеометр-відбивач виконується наступним чином. Установити тахеометр на штативі і два штатива з трегерами так, щоб відстань від тахеометра до трегерів була приблизно 10 м, і тахеометр знаходився у створі лінії, утвореної двома трегерами (рис. 3.3.3 а). Закріпити у першому трегері відбивач та привести тахеометр і відбивач у робоче положення.

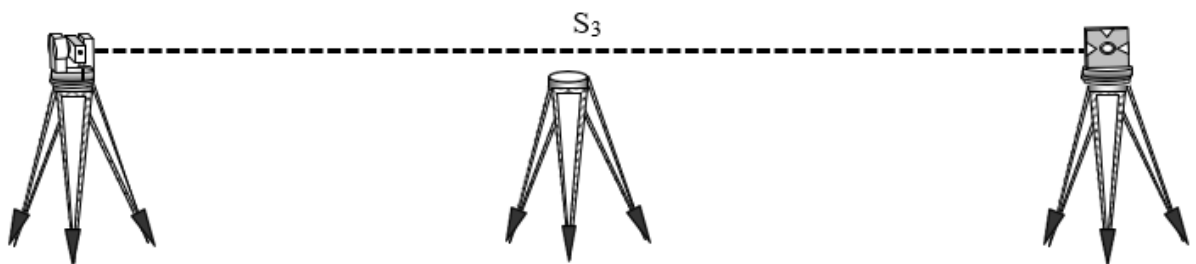


а)

б)

Рис. 3.3.3 Визначення постійної поправки методом трьох точок

Вимірюють лінію S_1 декілька разів і візьміть середнє. Закріплюють відбивач у третьому трегері (рис. 3.3.3 а) та вимірюють лінію S_2 декілька



разів і візьміть середнє. Встановлюють тахеометр у перший трегер, а відбивач

у третій трегер, вимірюють лінію S_3 (рис. 3.3.3 б) декілька разів і беруть середнє. Постійну поправку комплекту тахеометр-відбивач знаходять за формулою:

$$c = S_3 - (S_1 + S_2)$$

Визначена величина константи відбивача заноситься у пам'ять тахеометра (зазвичай пункт меню EDM).

9. Перевірка співпадіння осі електронного віддалеміра та візирної осі.

Вісь електронного віддалеміра повинна співпадати із візирною віссю.

Перевірка виконується наступним чином. Встановити тахеометр на відстані не менше 50 м від цілі, яка представляє собою намальований на білій поверхні твердого матеріалу хрест. Виконати наведення тахеометра на ціль. Виконати вимірювання відстані до цілі. Під час вимірювань візуально оцінити зміщення лазерного променя від центру цілі.

Щоб не порушити герметичність приладу, юстування осі віддалеміра у більшості електронних тахеометрів, рекомендуємо виконувати у сервісних центрах.

Узагальнені допустимі значення або межі всіх геометричних параметрів для тахеометрів різних класів точності наведено в ДСТУ 8955.

Перевірки технічного стану електронних теодолітів та виконання юстування аналогічні польовим перевіркам технічного стану електронних тахеометрів, за винятком перевірок віддалемірної частини (перевірки 8 та 9).

Частота перевірок наведена в таблиці 3.3.2.

Таблиця 3.3.2-Регулярність перевірок приладів

Операція перевірки	Рекомендована частота
Перевірка рівня	Щодня перед початком роботи
Перевірка компенсатора	Щодня або при зміні температур

Перевірка колімаційної похибки	1 раз на тиждень
Перевірка центриру	Щомісяця або після падіння
Перевірка константи відбивача	Після заміни відбивача
Перевірка осі віддалеміра	Щоквартально або за потреби

У ході метрологічної повірки тахеометра ZTS – 320R було проведено дев'ять основних перевірок, які охоплюють як оптичні, так і електронні складові приладу. Перевірки виконувалися у навчально-виробничій лабораторії згідно з ДСТУ EN ISO 17123-3:2006, інструкцією з експлуатації та методичними вказівками кафедри. Нижче подано докладний опис кожної операції, її цілі, методики та висновків.

1. Візуальний огляд

Мета: оцінити зовнішній стан приладу, наявність пошкоджень або дефектів.

Хід перевірки: прилад було очищено та оглянуто при денному світлі. Особлива увага приділялась стану об'єктивів, корпусу, гумових ущільнень, дисплея та клавіатури.

Результат: корпус приладу без вм'ятин, сколи відсутні, оптика чиста, дисплей без тріщин, кнопки не залипають.

Висновок: тахеометр придатний до експлуатації за зовнішніми ознаками.

2. Перевірка рівня (електронного або циліндричного)

Мета: перевірити, чи є рівень надійним орієнтиром при горизонтуванні.

Хід перевірки: рівень виставлявся у двох положеннях — паралельно двом та перпендикулярно третьому підйомним гвинтам. При обертанні на 180° зміщення бульбашки було менше ніж ½ поділки.

Висновок: рівень працює в межах допустимих відхилень. Юстування не потрібне. Точність горизонтування забезпечена.

3. Перевірка роботи компенсатора

Мета: оцінити здатність компенсатора компенсувати нахили приладу.

Хід перевірки: прилад навмисно нахилився в 4 напрямках на $\pm 2'$. Відлік по вертикальному кругу не виходив за межі 1.2" від попереднього значення.

Висновок: компенсатор працює стабільно, автоматична корекція вертикальних та горизонтальних кутів забезпечується. Компенсатор справний.

4. Перевірка сітки ниток

Мета: перевірити, чи вертикальна нитка сітки розташована строго у вертикальній площині.

Хід перевірки: наведення на ціль зверху вниз показало, що ціль залишалася на нитці.

Висновок: сітка ниток юстована вірно, похибок в наведенні на орієнтири немає. Не потребує корекції.

5. Перевірка колімаційної похибки

Мета: виявити відхилення візирної осі від перпендикуляра до осі обертання зорової труби.

Хід перевірки: було виконано наведення в положеннях круга ліворуч і праворуч. Різниця у відліках — 1.7".

Висновок: колімаційна похибка у межах норми. Тахеометр забезпечує точне наведення на ціль.

6. Перевірка місця нуля (зеніту)

Мета: оцінити точність визначення вертикального кута у горизонтальному положенні.

Хід перевірки: прилад був наведений на ціль на відстані 100 м. Після вимірювання вертикального кута в положеннях КЛ і КП — відхилення 1.1".

Висновок: положення нуля у вертикальному крузі відповідає нормативам. Прилад правильно орієнтує вертикаль.

7. Перевірка неперпендикулярності осей обертання

Мета: перевірити, чи перпендикулярні одна одній вісь обертання зорової труби та вісь обертання тахеометра.

Хід перевірки: виконано через сервісне меню приладу. Всі розрахунки проводились автоматично. Відхилення – 1.2".

Висновок: геометрична точність приладу відповідає вимогам. Системна похибка відсутня.

8. Перевірка центру (оптичного або лазерного)

Мета: визначити, наскільки точно лазер/оптичний вісок проектує точку стояння на землю.

Хід перевірки: ціль під тахеометром не зміщувалась при повороті на 360°.

Висновок: точка візування стабільна, вісь центру проходить через вісь обертання. Тахеометр можна точно встановити над точкою.

9. Перевірка співпадіння осі віддалеміра з візирною віссю

Мета: виключити паралакс між лазерним променем і оптичною віссю.

Хід перевірки: при наведенні на ціль на відстані 100 м лазер і візир співпадали. Відхилення <1 мм.

Висновок: осі співпадають, вимірювання відстані відповідають точці візування. Результати перевірок зведено до таблиці 3.3.3:

Таблиця 3.3.3 – Результати повірок тахеометра ZTS – 320R

№	Назва операції повірки	Результат вимірювання	Висновок
1	Візуальний огляд	Корпус чистий, лінзи без подряпин	Дефектів не виявлено
2	Перевірка рівня	Зміщення бульбашки: 0.3 поділки	Рівень справний
3	Перевірка компенсатора	Різниця КЛ/КП: 1.1", зсув при нахилі: 0.9"	Компенсатор працює стабільно
4	Перевірка сітки ниток	Відхилення верх-низ: < 0.5 мм	Вертикальна нитка юстована
5	Перевірка колімаційної похибки	Колімаційна похибка: 1.6"	У межах допуску
6	Перевірка місця нуля (зеніту)	КЛ: 89°59'58", КП: 90°00'00"	Відхилення: 2", допустимо
7	Перевірка неперпендикулярності осей	Виміряне відхилення: 1.2"	Перпендикулярність дотримана
8	Перевірка центриру	Макс. зміщення точки: 0.8 мм	Центрування точне
9	Перевірка співпадіння осей EDM та візира	Відхилення лазера: 0.7 мм	Осі співпадають

Усі 9 перевірок виконано згідно з чинними нормативами. Жодне з вимірювань не вийшло за межі допустимих похибок. Стан приладу задовільний, юстування не потребується. Тахеометр ZTS – 320R визнано придатним до використання у точних геодезичних роботах, включаючи будівництво, кадастрові зйомки, моніторинг споруд.

Проведення повірки дозволило впевнено встановити відповідність технічних характеристик приладу заявленим параметрам. Надалі

рекомендовано проводити планову повірку раз на рік або після транспортування/ремонту, згідно з графіком метрологічного обслуговування.

3.4. Аналіз похибок та фактори впливу

У практиці вимірювань усі похибки(основні типи похибок наведені в таблиці 3.4.1) можна класифікувати наступним чином[7,с.234] (основні фактори впливу на точність наведені в таблиці 3.4.2):

Систематичні похибки: виникають через неправильне калібрування приладів, похибки у конструкції вимірювального обладнання або неточності в алгоритмах програмного забезпечення. Такі похибки мають постійний або закономірний характер і можуть бути усунені або значно зменшені шляхом регулярної повірки та калібрування приладів, а також застосування коригувальних коефіцієнтів.

Випадкові похибки: спричинені непередбачуваними змінами зовнішнього середовища — флуктуаціями температури, змінами тиску, вітром, а також людським фактором. Ці похибки мають випадковий характер і піддаються статистичній обробці. Їх вплив зменшується шляхом багаторазового повторення вимірювань і обчислення середнього значення.

Грубі похибки (грубі помилки): виникають через неуважність оператора, помилки при зчитуванні показів, неправильне встановлення приладу, відбиття променя не від цільової точки, механічні пошкодження або зовнішні перешкоди. Такі похибки можуть значно спотворити результати вимірювань і повинні виявлятися шляхом контролю, порівняння даних, повторного проведення вимірювань або виключення явно помилкових результатів із подальшого аналізу.

Таблиця 3.4.1-Типи похибок

Тип	Джерело	Наслідки	Спосіб
-----	---------	----------	--------

похибки	виникнення		усунення
Систематична	Некоректне калібрування, зсув оптики	Зміщення всіх результатів	Повторне калібрування, юстування
Випадкова	Вітер, волога, нестабільна основа	Розкидані результати	Багаторазове вимірювання, усереднення
Груба (грубі помилки)	Людський фактор, помилкове наведення	Великі спотворення значень	Повторне вимірювання, контроль
Електронна	Помилка зчитування, збої ПЗ	Невизначені відхилення	Перевірка прошивки, перезавантаження

Таким чином, розуміння джерел і природи кожного типу похибок є необхідною умовою для забезпечення високої точності та надійності вимірювань.

Таблиця 3.4.2 – Основні фактори впливу на точність вимірювань

Фактор впливу	Характер дії	Спосіб зменшення впливу
Температурне розширення	Зміна довжини променя	Введення температурних поправок
Вітер	Коливання триноги, неточне наведення	Встановлення в захищеному місці
Сонячне світло	Втрата точності наведення	Використання тіньовиків

Вологість	Погіршення прозорості повітря	Робота в суху погоду
Неуважність оператора	Помилкове зчитування або запис	Перевірка результатів, подвійна фіксація

3.5. Рекомендації щодо експлуатації та обслуговування

Для забезпечення максимальної точності та довговічності тахеометра необхідно дотримуватись ряду правил(регулярність обслуговування наведена в таблиці 3.5.1)

Основні рекомендації:

-регулярно калібрувати прилад – особливо після транспортування або ударів;

-використовувати сертифіковане програмне забезпечення – для мінімізації обчислювальних похибок;

-заряджати акумулятор лише рекомендованими зарядними пристроями;

-забезпечити захист від пилу й вологи – використовувати герметичні контейнери для зберігання;

-навчати персонал – проводити інструктаж щодо експлуатації та аналізу похибок.

Таблиця 3.5.1 – Графік обслуговування тахеометра ZTS – 320R

Обслуговування	Частота	Відповідальний
Візуальний огляд	Щоразу перед роботою	Оператор
Калібрування	Кожні 3-6 місяців	Інженер-геодезист
Повірка в метрологічному центрі	Раз на рік	Сертифікований експерт
Чищення оптики	Щомісяця або при	Технічний персонал

	потребі	
--	---------	--

ВИСНОВКИ

У результаті виконання курсової роботи на тему «Дослідження та перевірка електронного тахеометра ZTS – 320R» було досягнуто наступних результатів:

1. Проаналізовано будову та функціональні можливості тахеометра ZTS – 320R [8]. Зокрема, встановлено, що прилад поєднує функції електронного теодоліта та далекоміра, що дозволяє здійснювати вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, а також відстаней з високою точністю. Завдяки цифровому дисплею, внутрішній пам'яті та можливості передачі даних на ПК, тахеометр значно полегшує та прискорює геодезичні роботи.

2. Вивчено технічні характеристики тахеометра. Прилад забезпечує високу точність кутових вимірювань (до 2'') та відстаней (до $\pm(2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm})$), що робить його придатним для широкого спектру завдань – від топографічних зніманих до побудов на будівельних майданчиках.

3. Розглянуто методику перевірки тахеометра. Описано основні етапи та прийоми перевірки приладу, включаючи:

- перевірку точності вимірювання кутів (горизонтальних і вертикальних),
- перевірку точності вимірювання відстаней,
- перевірку юстування оптичної вісі, сітки ниток та компенсатора.

Також вказано допустимі межі похибок та способи усунення виявлених несправностей.

4. Обґрунтовано необхідність періодичної перевірки тахеометрів. Регулярна перевірка є запорукою достовірності геодезичних вимірювань,

особливо у випадках виконання високоточних або відповідальних робіт, пов'язаних з проєктуванням, будівництвом та кадастровими зйомками.

5. Наголошено на практичній цінності приладу. Тахеометр ZTS – 320R завдяки своїм технічним характеристикам, простоті експлуатації та функціональності відповідає сучасним вимогам до геодезичного обладнання. Його застосування дозволяє суттєво підвищити продуктивність і якість геодезичних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Герасимов С.С. Інженерна геодезія: підручник. – К.: Вища школа, 2017. – 456 с.
2. ДСТУ ISO 17123-3:2006. Оптичні та оптико-електронні прилади для вимірювання відстаней і кутів. Методи польових випробувань тахеометрів.
3. Гринюк В.Й., Павлюк І.Я. Геодезичні прилади та приладознавство. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. – 312 с.
4. Головченко О.П., Кондратюк П.М. Геодезія: навч. посіб. – Харків: ХНАМГ, 2018. – 280 с.
5. Інструкція з експлуатації електронного тахеометра ZTS-320R. – [б. м.]: Zhongtu Surveying Instrument Co., Ltd, 2021. – 64 с.
6. Лисенко О.М. Методи повірки геодезичних приладів: навчальний посібник. – Київ: НАУ, 2016. – 198 с.
7. Микитин О.Р., Коваленко Л.С. Геодезичні прилади та вимірювання. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 234 с.
8. Каталог продукції ZTS – Zhongtu Surveying Instrument, офіційний сайт виробника. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ztsurvey.com> (дата звернення: 05.05.2025).