

УДК 528. 48

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.2.57>

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ «КОМПЛЕКСУ НАЗЕМНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ»

Яценко В. М. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри землеустрою, геодезії та кадастру
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0001-7621-1179

Шаталова Ж. О. – старший викладач кафедри землеустрою,
геодезії та кадастру
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-1218-7143

Сучасні геодезичні прилади зручні в роботі, високопродуктивні, забезпечують високу точність вимірювань. Їх правильна експлуатація потребує від виконавців робіт поглиблених знань та навичок. Тому, до навчальних планів землепорядної спеціальності (193) включено дисципліну «Електронні геодезичні прилади», в ході проходження якої, вивчають конструкцію та метрологічні характеристики сучасних приладів геодезичного призначення, а також методи метрологічного контролю.

Високоточні геодезичні вимірювання потребують таких засобів вимірювань (ЗВ), які забезпечували б максимальну продуктивність праці під час польових вимірюваннях і високу стабільність їх основних технічних параметрів. Прагнення до часткової або повної автоматизації процесів вимірювання призвело до створення ЗВ, які вимагають виключно дбайливого поводження й можливості постійного контролю за їх нормальною експлуатаційною придатністю.

На даний час метрологічний контроль геодезичних приладів реалізується за допомогою спеціальних лабораторних установок та геодезичних полігонів, але кількість метрологічних лабораторій, які надають послуги з метрологічного контролю засобів вимірювання (ЗВ) в Україні недостатня, тому необхідно шукати нові можливості зі створення та використання більш зручних методів метрологічного контролю.

Багаторічний досвід експлуатації засобів вимірювальної техніки в Україні (теодолітів, нівелірів, тахеометрів, гірокомпасів, рулеток тощо) вказує на необхідність постійного контролю їх працездатності і стабільності параметрів до і після проведення топографо-геодезичних робіт у зв'язку з великою ймовірністю пошкодження приладу як за рахунок некомфортних, умов роботи на об'єктах, так і за рахунок несприятливих умов транспортування вимірювальної техніки до місця роботи й назад.

Комплекс наземного геодезичного забезпечення (КНГЗ) в Університеті призначений для перевірок, регулювань, досліджень і еталонування геодезичної вимірювальної техніки. Експлуатація КНГЗ включає можливість використання в роботі несправної геодезичної вимірювальної техніки; зменшує витрати часу на еталонування електронних приладів за рахунок виключення його транспортування на пункти вихідних сторін державної геодезичної мережі (ДГМ).

Ключові слова: засоби вимірювань (ЗВ), Комплекс наземного геодезичного забезпечення (КНГЗ), метрологічний контроль.

Yatsenko V. M., Shatalova Zh. O. Improvement of methods of metrological control of geodesic surveys during the implementation of the "Ground geodesic support complex"

Modern geodetic instruments are convenient to use, highly productive, and provide high accuracy of measurements. Their proper operation requires in-depth knowledge and skills from the performers. Therefore, the curriculum of the land management specialty (193) includes the discipline "Electronic geodetic instruments", during which the design and metrological characteristics of modern geodetic instruments, as well as methods of metrological control, are studied.

High-precision geodetic measurements require such measuring instruments (MI) that would ensure maximum productivity during field measurements and high stability of their main technical parameters. The desire for partial or complete automation of measurement processes has led to the creation of MIs that require extremely careful handling and the possibility of constant monitoring of their normal operational suitability.

Currently, metrological control of geodetic instruments is implemented using special laboratory facilities and geodetic polygons, but the number of metrological laboratories that provide services for metrological control of measuring instruments (MI) in Ukraine is insufficient.

Many years of experience in operating measuring equipment in Ukraine (theodolites, levels, total stations, gyrocompasses, tape measures, etc.) indicate the need for constant monitoring of their performance and stability of parameters before and after topographic and geodetic works due to the high probability of damage to the device both due to uncomfortable working conditions at the facilities and due to unfavorable conditions for transporting measuring equipment to the place of work and back.

The Ground Geodetic Support Complex (GGS) at the University is designed for inspections, adjustments, research and calibration of geodetic measuring equipment. Operation of the GGS eliminates the possibility of using faulty geodetic measuring equipment in operation; reduces time spent on calibrating electronic devices by eliminating its transportation to the points of the output sides of the state geodetic network (SGN).

Key words: measuring instruments (MI), Complex of ground geodetic support (KNGZ), metrological control.

Постановка проблеми. Багаторічний досвід експлуатації засобів вимірювальної техніки в Україні (теодолітів, нівелірів, тахеометрів, гірокомпасів, рулеток тощо) вказує на необхідність постійного контролю їх працездатності і стабільності параметрів в ході проведення топографо-геодезичних робіт.

Крім того, одним з основних завдань при експлуатації учбово-тренувального комплексу наземного геодезичного забезпечення є закріплення знань та навичок у студентів при проведенні повірок, регулювань, досліджень і еталонування геодезичної вимірювальної техніки, яка використовується на кафедрі землеустрою, геодезії та кадастру ХДАЕУ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Специфіка геодезичних вимірювань в складних польових умовах, історичний досвід проведення геодезичних робіт поступово наклав свій відбиток на конструктивні особливості геодезичних засобів вимірювань. В даний час практично всі геодезичні засоби вимірювань (ГЗВ) є автономними системами, можуть юстируватися (виправлятися) безпосередньо виконавцем в результаті виконання технологічних (поточних) і метрологічних досліджень та перевірок [1].

Основним завданням метрологічної повірки кутомірних геодезичних інструментів – теодолітів і тахеометрів, є визначення метрологічних характеристик, що впливають на точність вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів [2].

Такою є середня квадратична похибка (СКП) вимірювання горизонтального або вертикального кутів одним повним прийомом. Еталонні кути, досить часто, задаються за допомогою багатограних призм [2].

Проблема підвищення точності топографо-геодезичних робіт зумовила необхідність розробки нових методів виконання цих робіт. З цими питаннями перекликається й вдосконалення методів побудови планово-висотних опорних геодезичних мереж [3, с. 21–29].

Стандарти щодо точності виконання робіт та вибору інструментів регламентуються нормативними документами України [ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009, ДБН В.1.3-2:2010, ДБН А.2.1-1-2014]. Наведемо також деякі стандарти Європейських вимог у цій галузі [ISO 17123-1, ISO 17123-5].

На даний час розроблено різні, що стали вже традиційними, геодезичні методи і засоби технологічних і метрологічних повірок і досліджень ГЗВ: громіздкі

стаціонарні оптико-механічні та інтерференційні компаратори (МПГАіК, ЦНДІ-ГАіК, НДІФТРІ, ІФВЕ і ін.), компактні установки типу УК- 1, АУПНТ, ВЕГА УКБ тощо.

Цьому сприяли розробки і дослідження таких вчених, як Ф. Н. Красовський, Ф. Деймліх, С. В. Єлісєєв, В. С. Плотніков, М. М. Воронков, М. В. Кузьмін, А. І. Захаров, Д. А. Анікст, В. С. Усов, М. М. Корсунська, А. І. Спиридонов, Г. Х. Ямбаєв, А. М. Жилкін та багато інших [4].

На практиці широке застосування знайшли коліматорні методи перевірок геодезичних інструментів.

Слід відмітити, що на сьогодні 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.

Існуючі перешкоди з використання відомої еталонної бази для метрологічного контролю геодезичних приладів змушують шукати нові можливості зі створення та використання більш зручних методів метрологічного контролю.

Метою дослідження є впровадження компактних засобів геодезичної метрології для повірок та дослідження стану оптико-механічних та електронних геодезичних приладів при застосуванні технологічного обладнання *системи наземного геодезичного забезпечення* (КНГЗ).

Під системою НГЗ розуміється *навчально-тренувальний комплекс геодезичного забезпечення* для навчання, повірок, регулювань, дослідження і еталонування геодезичної вимірювальної техніки, а так само для контролю її працездатності перед початком (виходом або виїздом на об'єкт) і по закінченню топографо-геодезичних робіт на об'єкті.

Методи дослідження. В статті використані результати повірок геодезичних приладів з впровадженням вдосконалених методик метрологічного контролю, саме:

- методика повірок і контролю геодезичних приладів, яка об'єднує процедури контролю кутомірної та віддале мірної частини тахеометрів в єдину процедуру, що дозволяє скоротити витрати на створення, утримання та використання еталону й підтвердити точність вимірювань;
- методика повірок засобів вимірювання у лабораторних умовах та методику калібрування віддале мірної частини електронних приладів (теодоліти, тахеометри, нівеліри та ін.).

Для вирішення поставлених завдань використано комплекс загальнонаукових та спеціальних, емпіричних і теоретичних методів дослідження та повірок, оснований на даних високоточних геодезичних вимірів та математичної обробки вимірів і візуалізації результатів. Для лінійно-кутових вимірювань (визначення величин середньоквадратичних та відносних похибок) дослідження виконувались традиційними методами, але для досягнення більш надійних результатів були застосовано вищевказані методики.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що в даному проєкті розроблено методику повірок засобів вимірювання в лабораторних умовах та методику калібрування віддалемірної частини електронних приладів (теодоліти, тахеометри, нівеліри та ін.).

Комплекс наземного геодезичного забезпечення (КНГЗ) призначений для перевірок, регулювань, досліджень і еталонування геодезичної вимірювальної техніки. Експлуатація КНГЗ виключає можливість використання в роботі несправної

геодезичної вимірювальної техніки, зменшує витрати часу на еталонування електронних приладів за рахунок виключення його транспортування на пункти вихідних сторін державної геодезичної мережі (ДГМ) [5].

Однаковість засобів геодезичних вимірювань полягає в тому, щоб їх метрологічні параметри (характеристики) відповідали встановленим вимогам, що регламентуються нормативними документами. Цей стан забезпечується через процедури метрологічної повірки та атестації ГЗВ [5].

Нормативно-технічні документи (НТД), що визначають порядок експлуатації та регламентного обслуговування засобів вимірювань, не завжди призначають періодичність регламентного обслуговування цих ЗВ в залежності від інтенсивності їх експлуатації та середовища, в якій проводиться експлуатація і транспортування засобів вимірювань [6].

Тому з метою зведення до мінімуму вірогідності подібного ризику пропонується система наземного геодезичних забезпечення (СНГЗ), призначена саме для навчання, впровадження та експлуатації геодезичної вимірювальної техніки в ХДАЕУ при наявності на його території існуючого геодезичного обґрунтування, що відповідає сучасним вимогам державних нормативних актів.

Виклад основного матеріалу. Під системою НГЗ розуміється *навчально-тренувальний комплекс геодезичного забезпечення* для навчання, повірок, регулювань, дослідження і еталонування геодезичної вимірювальної техніки, а так само для контролю її працездатності перед початком (виходом або виїздом на об'єкт) і по закінченню топографо-геодезичних робіт на об'єкті.

Геоцентр представляє собою сукупність пунктів, візирних марок, реперів, кронштейнів та пристосувань (для установки і візування приладів), закладених в підлозі, стелі і стінах приміщення й по маршруту традиційного проходження виконавців вимірювальних робіт з геокамери до об'єкту зйомок (рис. 1).

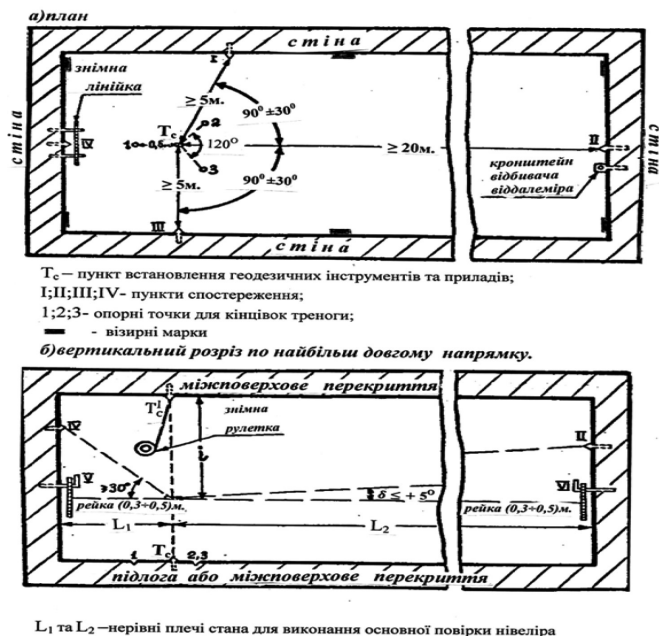


Рис. 1. Конструкція типового комплексу НГЗ

Ці приміщення знаходяться в будівлі Херсонського державного аграрно-економічного університету, що дозволяє виключити вплив метеорологічних і технологічних факторів на можливість експлуатації «Комплексу наземного геодезичного забезпечення» (КНГЗ).

Основними факторами, що об'єднують сукупність вищевказаних пристосувань в систему НГЗ для даного комплексу (КНГЗ) є:

а) планові координати пунктів стояння приладів комплексу, які повинні бути визначені в єдиній системі координат з точністю не менше 1:8000. Ця точність цілком достатня для проведення навчання, перевірок, регулювань, досліджень і еталонування геодезичної вимірювальної техніки;

б) точність визначення дирекційного кута найдовшого напрямку (між пунктами стояння і візування кутомірною приладу) не повинна перевищувати $\pm 15''$ і може бути забезпечена за допомогою вимірювання кутів способом кругових прийомів;

в) точність висотних відміток пунктів стояння приладів і реперів комплексу повинна відповідати вимогам для нівелювання IV класу:

$$f_{\text{дон}} = \pm 20\sqrt{L} \text{ мм.} \quad (1)$$

Пункти точок стояння T_c і T_c^I (див. рис. 1) закладаються на одній вертикальній лінії з метою можливості центрування кутомірних приладів для лінійних вимірів як над пунктом T_c так і під пунктом T_c^I і призначені для взаємної перевірки центрувальних пристроїв (шнурових висків, оптичних висків теодолітів і лотзенітприладів. Гнізда 1,2,3 закладаються на радіусах кола діаметром 1,2 м з центром у пункті T_c і є опорами «башмаків» штативів.

Використання цих гнізд гарантує відсутність зміщень штатива щодо пунктів T_c і T_c^I в процесі контрольних вимірів і повірок геодезичних приладів та інструментів.

Пункти візування I; II; III закладаються в стінах приміщення і розташовуються на напрямках орієнтованих один відносно іншого під кутами ($90 + 30^\circ$ і щодо горизонт $\pm 5^\circ$). Ці пункти утворюють три горизонтальних кута, які після початкових вимірювань з точністю не менш $\pm 15^\circ$ в подальшому використовуються в якості контрольних для перевірки працездатності горизонтальної вимірювальної частини теодолітів і тахеометрів.

Пункт II, який розташований на найбільш довгому напрямку (≥ 20 м), на який вимірюється вертикальний кут з точністю не менш $\pm 15^\circ$ і надалі використовується як контрольний для перевірки вертикальної вимірювальної частини геодезичних приладів. Через те що, при контрольних вимірюваннях, величина цього вертикального кута залежить від висоти встановлення штатива контрольованого теодоліта, то за рахунок різниці висот теодолітів при початкових і контрольних вимірах слід вводити поправку в контрольний вертикальний кут. Поправка визначається за формулою:

$$\sin \Delta\delta = \frac{\Delta i \cdot \cos \delta_{\kappa}^{\text{вим}}}{\ell_H}, \quad (2)$$

де: $\Delta\delta$ – поправка в виміряне значення контрольного кута;

Δi – різниця висот теодолітів при контрольному (i) і початковому (i_n) вимірах вертикальних кутів;

$\Delta\delta_{\kappa}^{\text{вим}}$ – виміряне значення контрольного вертикального кута;

ℓ_n – похила довжина між пунктами T_3 і II відповідна початкового вимірюваному значенню вертикального кута ($\delta_n^{\text{вим}}$) при висоті теодоліта (i_n).

Значення контрольного вертикального кута, наведене до висоти теодоліту при початкових вимірах, визначається за формулою:

$$\delta_k^{\text{обрах.}} = \delta_n^{\text{вим.}} + \Delta\delta. \quad (3)$$

Знак поправки $\Delta\delta$ визначається знаком різниці висот геодезичних інструментів при початковому і контрольних вимірах. При $i_k > i_n$ поправка позитивна і навпаки.

Критерієм надійної працездатності вертикальної вимірювальної частини контрольного теодоліта є різниця:

$$[\delta_k^{\text{изм.}} - \delta_k^{\text{выч.}}] \leq \mu. \quad (4)$$

де: μ – допустиме значення різниці, яке, в основному, залежить від точності вимірювання вертикального кута кутомірним приладом, який повіряється і визначається його технічними характеристиками.

Пункт IV (див. рис. 1, б – розріз) спільно зі зйомною лінійкою, яка встановлена на стрижнях на висоті горизонту теодоліта під цим пунктом (див. рис. 1, а – план), який повіряється, служить для перевірки нахилу горизонтальної осі теодоліта.

Зйомні рейки на стрижнях, які закладені в стінах (див. рис. 1, б – розріз) і розташовані на відстанях L_1 і L_2 від пункту T_c , призначені для виконання основної повірки нівелірів. Початкове перевищення між стрижнями визначається нівелюванням з середини, а контроль паралельності візирної осі нівеліра площини горизонту здійснюється нівелюванням з пункту T_c . Довжина $L_1 \approx 3$ м, а відношення довжин $L_2/L_1 \geq 8$.

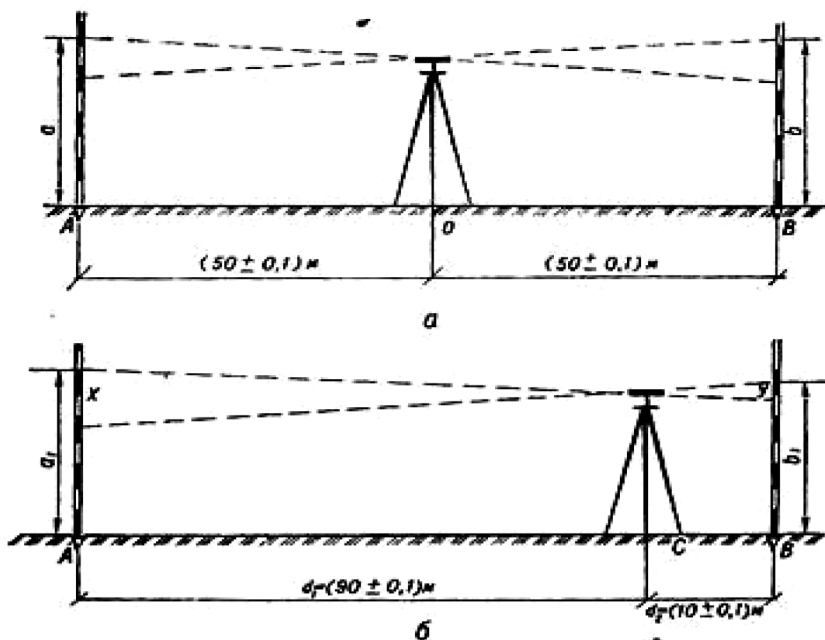


Рис. 2. Схема основної повірки нівелірів

Довжина L_1 вибирається з міркувань мінімальної відстані, на якій забезпечується дія фокусування зорових труб приладів які повіряються і реалізації вертикального кута з пункту T_c на пункт IV, а відношення відстаней – для виявлення неприпустимої непаралельності візирних осей нівелірів площини горизонту.

Кронштейн на найбільш віддаленій стінці від пункту T_c призначений для встановлення відбивачів з комплексу електронного тахеометра з метою контролю працездатності приймача і оцінки стабільності сталої величини системи «приймач-відбивач».

Оскільки комплекс НГЗ, в основному, призначений для контролю працездатності геодезичної вимірювальної техніки перед проведенням вимірювань і по закінченню їх, то експлуатація його з цієї метою зводиться до наступного:

1. Перед виїздом на зйомку на пункті T_c встановлюється прилад і виконуються контрольні вимірювання відомих величин. За різницею результатів між контрольними і початковими вимірами приймається рішення про працездатність приладу і доцільності виконання з його допомогою відповідного виду робіт на об'єкті.

2. По закінченню робіт на об'єкті виконуються такі ж контрольні вимірювання. І після порівняння їх з результатами початкових вимірювань приймається рішення про можливість або неможливість прийняття до обробки результатів польових вимірювань.

***Примітка:** при оцінці працездатності кутомірних приладів з неповторувальними системами вертикальних висів і з кнопково-редукторними і клемними роз'єднувальними механізмами лімба і аліади обов'язково слід визначати захоплення лімба горизонтального кола.*

3. Геодезична вимірювальна техніка підрядних організацій піддається аналогічним перевіркам на працездатність і допуск на її застосування для топографо-геодезичних зйомок згідно з вимогами нормативно-правових актів.

Висновки. За результатами аналізу вітчизняних і зарубіжних публікацій встановлено, що метрологічний контроль геодезичних приладів реалізується за допомогою спеціальних лабораторних установок та геодезичних полігонів.

Встановлено також, що кількість метрологічних лабораторій, які надають послуги з метрологічного контролю тахеометрів в Україні недостатня. Це пов'язано з малою кількістю базисних лінійних геодезичних полігонів.

Створення нових еталонних геодезичних полігонів потребує великих людських і фінансових витрат.

Тому актуальною є задача розробки *оперативних компактних повірочних установок, стендів і компараторів* на основі сучасного стану оптики, цифрових технологій тощо, що дозволяють спростити и прискорити процедуру виконання контрольних вимірювань, а так само зробити ретельне юстирування ГЗВ при виявленні відхилення їх технічних й метрологічних характеристик від завдань нормативних вимог забезпечення єдності та достовірності результатів геодезичних вимірювань.

Враховуючи вищевикладене, з метою постійного контролю за нормальною експлуатаційною придатністю геодезичних приладів і засобів вимірювання (ЗВ) в даній статті пропонується **система наземного геодезичного забезпечення (СНГЗ)**, яка призначена саме для навчання, впровадження та експлуатації геодезичної вимірювальної техніки в Херсонському державному аграрно-економічному університеті.

В результаті введення в експлуатацію Комплексу наземного геодезичного забезпечення (КНГЗ) була вирішена актуальна науково-технічна задача удосконалення метрологічного забезпечення геодезичних вимірювань та підвищення навичок і досвіду студентів при роботі з приладами і засобами вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>
2. ДСТУ 7212:2011. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювальної техніки площинного кута. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 3 с.
3. Боровий В. О., Бурачек В. Г. Високоточні інженерно-геодезичні вимірювання: навч. підруч. Вінниця: Нілан, 2017. 235 с.
4. Полякова Н. О. Метрологія і стандартизація: навч. посібн. Київ : ПП «Фіто-соціоцентр», 2015. 214 с.
5. Про затвердження Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів: Наказ Міністерства економічного розвитку України від 08.02.2016 № 193 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0278-16>
6. Standard Length of Plover Cove EDM Calibration Baseline [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.geodetic.gov.hk/common/data/calibration_edm_base/Plover_Cove_EDM_Calibration_Baseline.pdf.
7. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів: [нормативний документ]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 71 с.

REFERENCES:

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2014). *Pro metrolohiuu ta metrolohichnu diialnist: Zakon Ukrainy No. 1314-VII* [On metrology and metrological activity: Law of Ukraine No. 1314-VII]. *Bulletin of the Verkhovna Rada*, (30). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>
2. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2011). *DSTU 7212:2011. Metrolohiya. Derzhavna povirochna skhema dlia zasobiv vymiriuvanoi tekhniki ploshchynnoho kuta* [Metrology. State verification scheme for measuring instruments of plane angle]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
3. Borovy, V. O., & Burachek, V. G. (2017). *Vysokotochni inzhenerno-heodezychni vymiruvannia: Navchalnyi pidruchnyk* [High-precision engineering and geodetic measurements: A textbook]. Vinnytsia : Nilan.
4. Polyakova, N. O. (2015). *Metrolohiya i standartyzatsiia: Navchalnyi posibnyk* [Metrology and standardization: A textbook]. Kyiv : Fitosotsiotsentr.
5. Ministry of Economic Development of Ukraine. (2016). *Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia povirky zakonodavcho rehuliovanykh zasobiv vymiriuvanoi tekhniki, shcho перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів* [On approval of the procedure for verification of legally regulated measuring instruments in operation and registration of its results]: Order No. 193 of 08.02.2016. Kyiv. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0278-16>
6. Survey and Mapping Office, Hong Kong. (n.d.). *Standard length of Plover Cove EDM calibration baseline*. Retrieved from https://www.geodetic.gov.hk/common/data/calibration_edm_base/Plover_Cove_EDM_Calibration_Baseline.pdf
7. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine. (2010). *DSTU-N B V.1.3-1:2009. Vykonannia vymiruvan, rozrakhunok ta kontrol tochnosti heometrychnykh parametriv* [Measurements, calculation, and control of the accuracy of geometric parameters]. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy.