

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРЕЦИЗИЙНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

С. Федін, кандидат технічних наук, доцент,
Київський національний університет технології та дизайну,
І. Акользін, інженер, ДП «Укрметртестстандарт»,
Н. Зубрецька, кандидат технічних наук, доцент,
Київський національний університет технології та дизайну, м. Київ

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРЕЦИЗИОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С. Федин, кандидат технических наук, доцент,
Киевский национальный университет технологии и дизайна,
И. Акользин, инженер, ГП «Укрметртестстандарт»,
Н. Зубрецкая, кандидат технических наук, доцент,
Киевский национальный университет технологии и дизайна, г. Киев

QUALITY COMPLEX ESTIMATION OF PRECISION MEASURING INSTRUMENTS OF THE GEODESIC APPOINTMENT

S. Fedin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Kyiv National University of Technology and Design,
I. Akolzin, Engineer, «Ukrmetrtteststandart» State Enterprise,
N. Zubretska, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv

У статті представлено методику точкового та інтервального оцінювання узагальненого показника якості (ПЯ) електронних тахеометрів за сукупністю основних метрологічних характеристик (МХ). Застосування запропонованої методики для порівняльного оцінювання якості електронних тахеометрів дозволило визначити найкращі зразки сучасного ринку геодезичного обладнання.

ВСТУП

Прецизійні засоби вимірювання геодезичного призначення, до яких належать теодоліти, світлодалекоміри та електронні тахеометри, широко застосовуються у процесі високоточних вимірень кутових та лінійних розмірів полігонів під час вирішення завдань побудовання геодезичних мереж і картографування територій.



С. Федін



І. Акользін



Н. Зубрецька

Характерною конструктивно-функціональною особливістю сучасних електронних тахеометрів є наявність вбудованої мікроЕОМ, за допомогою якої автоматизується процес вимірювання, забезпечується зберігання даних та отримання топографічного плану місцевості в автоматичному режимі. Програмне забезпечення тахеометра дозволяє вирішувати широке коло завдань під час вимірювання геометричних характеристик полігонів. Отримані в польових умовах дані оперативно опрацьовуються спеціальними програмами, що дозволяє створювати високоточні та якісні карти місцевості або плани розташування об'єктів [1].

Світовими лідерами у розробленні та виробництві електронних тахеометрів є компанії Leica Geosystems (Швейцарія); Trimble Navigation (США); Topcon Positioning Systems, Sokkia, Nikon (Японія); UOMZ (Росія). Кожна з фірм щороку виробляє декілька типів тахеометрів і з періодичністю в 2—3 роки змінює модельний ряд, удосконалюючи існуючий.

З урахуванням сучасних вимог до МХ геодезичних приладів виділяють три класи точності електронних тахеометрів: 1", 3" і 5". При цьому необхідно зазначити, що якість тахеометрів одного класу точності різних фірм-виробників геодезичного обладнання, яка оцінюється за сукупністю одиничних показників МХ, може значно варіювати [1]. Великий розкид значень МХ і відсутність можливості їх порівняння з базовими не дозволяє об'єктивно оцінити якість і конкурентоспроможність тахеометрів стандартними методами. Для отримання такої оцінки доцільно застосовувати комплексний показник, який відповідно до ДСТУ 2925—94 [2] характеризує одночасно кілька протиставлених властивостей, тобто МХ електронних тахеометрів.

Метою статті є отримання точкової та інтервальної комплексної оцінки якості електронних тахеометрів за сукупністю основних МХ.

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕХНІЧНИХ І МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОННИХ ТАХЕОМЕТРІВ

Електронний тахеометр складається з кутонічної частини, світлодалекоміра та вбудованого комп'ютера. За допомогою кутонічної частини визначаються горизонтальні та вертикальні кутові розміри, світлодалекомір призначений для вимірювання відстаней, а вбудований комп'ютер вирішує геодезичні завдання: забезпечує управління приладом, контроль, редагування й зберігання результатів вимірень. Зовнішній вигляд електронних тахеометрів різних фірм представлено на рис. 1.

Сучасні електронні тахеометри працюють як у відбивному режимі (оператор виконує вимірювання на спеціальні пристрої — відбивачі, призми), так і в безвідбивному режимі (вимірювання проводиться



Рис. 1. Електронні тахеометри

безпосередньо до об'єкта спостереження). Широкого застосування сьогодні набувають роботизовані тахеометри, за допомогою яких за заданою програмою автоматично знаходять положення відбивачів і проводять вимірювання.

Точність електронних тахеометрів визначають блоки або модулі вимірювання кутів (відстаней) і модуль компенсатора. Кутові вимірювання, як правило, лімітуються точністю 1", лінійні — 1 мм + 1 ppm (1 мм на 1 км). Більш висока точність тахеометрів окремих виробників за звичайних робіт і умов практично недосяжна через вплив навколишнього середовища і помилок центрування й наведення [1].

Світлодалекомір тахеометра характеризується не лише точністю, але й дальністю. Більшість вимірень тахеометра не перевищує 500—1000 м, однак, періодично доводиться вимірювати значно більші відстані [1]. Враховуючи це, оптимальними сьогодні є дальноміри з точністю не нижче 2 мм + 2 ppm за умови дальності 3000—4000 м.

Важливою складовою електронного тахеометра є модуль контролера — вбудований або зовнішній. Під контролером розуміємо не лише польовий комп'ютер/обчислювач, але й пульт/клавіатуру управління тахеометром. Від продуктивності контролера, об'єму пам'яті, типу екрана, наявності та кількості вбудованих програм залежать функціональні можливості тахеометра. Більшість моделей сучасних тахеометрів мають вбудований контролер, яким управляє цифрова або алфавітно-цифрова клавіатура, кількість клавіш якої — у межах від 5 до 30 залежно від можливостей тахеометра. Деякі тахеометри оснащуються повними РС-сумісними QWERTY-клавіатурами. Зовнішні контролери — це, як правило, серійні ручні комп'ютери типу Husky або HP, оснащені спеціальним програмним забезпеченням. Зібрана інформація у діапазоні від 1 до 10—50 тис. точок записується на карти пам'яті типу PCMCIA або на вбудовану мікросхему.

Останнім часом широко застосовуються польові графічні пен-комп'ютери чи комп'ютери з активним екраном (Pen/penpad computer або touch screen computer), що замінює клавіатуру та традиційний польовий журнал. За допомогою такого екрану і сенсорного олівця можна не лише керувати роботою тахеометра або геодезичного GPS-супутникового приймача, але й переглядати та редагувати графічне відображення результатів зйомок.

Програмне забезпечення тахеометрів дозволяє вирішувати більшість САД-завдань безпосередньо в полі: за результатами вимірень створювати тривимірну базу даних, будувати цифрову модель рельєфу у вигляді горизонталей, розрізи, перетини, профілі, вирішувати завдання координатної геометрії. Обмін даними з персональним комп'ютером, експорт/імпорт файлів у форматі DXF забезпечує ефективність розмітчастих робіт за задалегідь підготовленими проектами.

Основні МХ електронних тахеометрів класів точності 1", 3" та 5":

- неперпендикулярність осі обертання труби до осі обертання аліади (НВО);
- максимальний вплив ексцентриситету вертикального кола на вимірюваний кут (ЕВК);
- середньоквадратична похибка горизонтального кола (СКП ГК);
- середньоквадратична похибка вертикального кола (СКП ВК);
- середньоквадратична похибка вимірювання відстаней (СКП В);
- похибка вимірювання відстаней на кожен кілометр (ppm).

У табл. 1 наведено допустимі значення основних МХ електронних тахеометрів класу точності 5".

Таблиця 1. Допустимі значення основних МХ електронних тахеометрів класу точності 5"

МХ	НВО	ЕВК	СКП ГК	СКП ВК	СКП В	ppm
Допустимі значення МХ	15"	10"	5"	5"	2 мм	2 мм

Таблиця 2. Середні значення основних МХ електронних тахеометрів класу точності 5" різних фірм-виробників

ФІРМИ	МХ	НВО	ЕВК	СКП ГК	СКП ВК	СКП В	ppm
	Середнє значення МХ						
	SOKKIA	6,11	2,61	2,69	3,28	1,79	1,26
	LEICA	6,11	2,48	1,85	3,24	1,26	1,51
	TRIMBLE	5,89	1,31	1,86	2,10	1,12	1,17
	NIKON	9,18	1,68	2,22	2,88	1,32	1,49
	TOPCON	6,84	2,57	2,29	3,82	1,57	1,58
	UOMZ	11,91	1,61	3,15	2,84	2,00	1,97

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ ТАХЕОМЕТРІВ ЗА ОСНОВНИМИ МХ

Для оцінювання якості електронних тахеометрів пропонується метод, заснований на визначенні узагальнених ПЯ. За такого підходу досягається підвищення достовірності оцінювання якості, скорочення числа контрольованих параметрів, можливість уніфікації діагностики, можливість оцінювання конкурентоспроможності тахеометрів за узагальненими показниками.

Розроблення методики узагальненого оцінювання якості тахеометрів пов'язано зі створенням єдиної штучної метрики щодо кількісного визначення якості засобів вимірювання через допустимі значення їхніх МХ. За умови цього набору допустимих значень кожної МХ потрібно поставити у відповідність деякий стандартний аналог з єдиною шкалою оцінювання якості від нуля до одиниці. Побудова цієї шкали пов'язана з розподілом точкових та інтервальних оцінок якості МХ засобу вимірювання.

При цьому істотним є завдання комбінування одиничних точкових оцінок МХ тахеометра. Для його вирішення пропонується застосовувати функції бажаності Харрінгтона [3, 4]. Якщо під час розрахунку якості тахеометрів різних фірм характеризується N-показниками (x_1, x_2, \dots, x_n) , то для отримання комплексної оцінки якості необхідно перевести в безрозмірну шкалу x' усі виміряні показники x_i . Враховуючи те, що кожен показник (тобто МХ тахеометрів) має великий розкид значень, обумовлений напрацюванням та умовами експлуатації, визначалися середні значення кожної МХ.

Середні значення основних МХ (табл. 2) було отримано за результатами статистичного опрацювання

Таблиця 3. Результати комплексного оцінювання якості електронних тахеометрів

Фірма	Оцінка	Нижня межа оцінки	Верхня межа оцінки	Точкова оцінка	Інтервальна якісна оцінка	Узагальнена оцінка
Trimble		0,689	0,909	0,800	добре / відмінно	відмінно
Leica		0,582	0,832	0,709	задовільно / відмінно	добре
Sokkia		0,528	0,796	0,665	задовільно / добре	добре
Nikon		0,534	0,786	0,662	задовільно / добре	добре
Topcon		0,486	0,750	0,620	задовільно / добре	задовільно
UOMZ		0,0024	0,334	0,237	дуже погано / погано	погано

шкалу пропонується використовувати афінні перетворення:

$$\lambda = \frac{x_{vi} - x_i}{x_i - x_{ni}}, \quad (4)$$

де x_{vi} — верхня межа i -тої МХ за шкалою натуральних значень (наприклад, для НВО 15, 12, 9, 6 і т. д., рис. 2); x_{ni} — нижня межа i -тої МХ; x_i — фактичне значення i -тої МХ.

Після математичних перетворень функція Харрінгтона (1), за якою визначають нижню межу комплексного ПЯ, має вигляд:

$$R_{Ni} = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x'_v + \lambda x'_n}{1 + \lambda}\right)\right), \quad (5)$$

де x'_v — верхня межа i -тої МХ за безрозмірною шкалою (тобто 3, 1,5, 0,772 і т. д.; рис. 2); x'_n — нижня межа i -тої МХ за безрозмірною шкалою.

Верхня межа комплексного показника оцінюється за формулою:

$$R_{Vi} = 1 - \exp\left(-\exp\left(\frac{x'_v + \lambda x'_n}{1 + \lambda}\right)\right). \quad (6)$$

Точкова оцінка може бути отримана відповідно до формули:

$$R_{Ti} = \frac{(\exp(-\exp(-\frac{x'_v + \lambda x'_n}{1 + \lambda})) + 1) - \exp(-\exp(\frac{x'_v + \lambda x'_n}{1 + \lambda}))}{2}. \quad (7)$$

З огляду на те, що залежності (5—7) є експоненційними, інтервальну й точкову комплексні оцінки якості тахеометрів за сукупністю основних МХ доцільно здійснювати за формулами середнього геометричного індивідуальних значень R_{Ni}, R_{Vi}, R_{Ti} (8—10):

$$R_{Nk} = \sqrt[n]{R_{N1} R_{N2} \dots R_{Nm}}, \quad (8)$$

$$R_{Vk} = \sqrt[n]{R_{V1} R_{V2} \dots R_{Vm}}, \quad (9)$$

$$R_{Tk} = \sqrt[n]{R_{T1} R_{T2} \dots R_{Tm}}. \quad (10)$$

У випадку шести МХ залежність (10) має вигляд:

$$R_{Tk} = \sqrt[6]{R_{T1} R_{T2} R_{T3} R_{T4} R_{T5} R_{T6}}. \quad (11)$$

Розрахунки точкової та інтервальної комплексної оцінки якості електронних тахеометрів за наведеною ви-

ще методикою здійснювали з використанням універсальної системи математичного моделювання MathCAD 2001 Professional. Результати розрахунків наведено у табл. 3.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що відповідно до інтервальної шкали Харрінгтона до категорії «відмінно» можна віднести тахеометри фірми Trimble, до категорії «добре» — фірми Leica, Sokkia й Nikon. При цьому найкращу якість за сукупністю МХ у категорії «добре» мають тахеометри фірми Leica. Тахеометри фірм Topcon і Uomz відповідно мають оцінки «задовільно» та «погано».

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано методику точкового та інтервального оцінювання комплексного ПЯ електронних тахеометрів за сукупністю основних МХ з використанням функції Харрінгтона.
2. На основі отриманих результатів комплексного оцінювання якості електронних тахеометрів різних фірм показано, що зараз на вітчизняному ринку сучасного геодезичного обладнання найкращу якість за сукупністю МХ мають електронні тахеометри фірми Trimble Navigation. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Дементьев В. Е. Современная геодезическая техника и её применение: Учебное пособие. — М.: Академический проект, 2008. — 591 с.
2. ДСТУ 2925—94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення.
3. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 280 с.
4. Жарков Ю., Цицилиано О., Макарьора Д. Оптимізація критеріїв роботи органів оцінки відповідності з використанням методу Харрінгтона // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2004. — № 4. — С. 36—38.
5. Трищ Р. М., Слитюк Е. А. Обобщенная точечная и интервальная оценки качества изготовления деталей ДВС // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 1/2(19). — С. 63—67.