

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРОННИХ ТАХЕОМЕТРІВ

І. Тревого, А. Баландюк
Національний університет “Львівська політехніка”

Актуальність теми та мета роботи

Появі електронних тахеометрів передувало створення та удосконалення електронних теодолітів і топографічних світловідалемірів. Електронний тахеометр (ЕТ) – це вимірювальний прилад, у якому конструктивно об’єднані електронний теодоліт, світловідалемір і мікропроцесор із прикладним геодезичним, програмним забезпеченням. Мікропроцесор дає змогу зберігати дані вимірів у внутрішній пам’яті і здійснювати обробку й аналіз результатів вимірів безпосередньо в полі.

Останнім часом чітко простежується тенденція розвитку електронних тахеометрів – від “звичайних” приладів до роботизованих станцій. Прилад забезпечується сервоприводами, модулем наведення на візирну ціль і радіокомунікаційним пристроєм. З їхньою допомогою він автоматично наводиться на спостережувану точку, а всі команди оператор подає з пульта дистанційного керування. Оператор забуває про необхідність змінювати фокусування зорової труби при ручному наведенні на точку. Він повністю зосереджений на показах дисплея. Істотно збільшується якість кодування об’єктів під час знімання, що приводить до зниження часу камерального опрацювання.

Сьогодні виробляється і ціла сім’я тахеометрів-автоматів. Це не просто автоматизовані прилади із сервоприводами і пристроями автоматичного наведення на візирну ціль, а свого роду давачі положення об’єкта, які можна використовувати як складений елемент комп’ютеризованої технології. Електронні тахеометри стали запорукою науково-технічного прогресу і все ширше застосовуються в топографо-геодезичних роботах, в інженерній геодезії, в геодезичній метрології тощо. Враховуючи велику кількість моделей ЕТ виникла необхідність виконати детальний аналіз їхніх технічних характеристик і функціональних можливостей та розробити класифікацію сучасних електронних тахеометрів.

Викладення основного матеріалу досліджень

Ринок геодезичних приладів пропонує велику кількість електронних тахеометрів, які випускають найвідоміші приладобудівні фірми світу, такі, як: Leica Geosystem, Trimble, Sokkia, Topcon, Nikon, Foif, Pentax, Spectra Precision, South та інші (див. рис. 1). Крім того, кожна з фірм намагається урізноманітнити асортиментний ряд новими моделями приладів, додатково доповнюючи їх новими можливостями.

У табл. 1 відображено тенденції виробництва моделей вищевказаними фірмами в період 2004–2008 рр. Ці електронні тахеометри забезпечують різноманітні вимоги користувачів щодо точності, швидкодії, можливостей програмного забезпечення тощо.

Для вибору потрібного ЕТ необхідно детально розібратися у можливостях приладу. Перевагу надають точності кутових та лінійних вимірів. За цим показником доцільно встановити таку класифікацію (див. табл. 2).

- **Прецизійні** – це такі ЕТ, точність вимірювання кутів яких становить $\leq 1''$, ліній ≤ 1 мм. Їх використовують для високоточних інженерно-геодезичних робіт. Крім цього, їх можна застосовувати в метрології, наприклад, для перевірки ліній взірцевих геодезичних базисів з метою контролю їхньої стабільності. Еталоном у цьому класі є прилад фірми Trimble 5601 DR Standart, що має точність кутових вимірів $0,5''$, а лінійних 0,3 мм до 1 км. Таким приладом користується Укрметртестстандарт.

- **Точні** – це ЕТ, точність кутових вимірювання яких коливається в межах від $1''$ – $5''$, а лінійних 4 мм на 1 км. Такі прилади доцільно використовувати для різноманітних топографо-геодезичних робіт, для створення мережі полігонометрії, землевпорядних та кадастрових робіт. Такими ЕТ є, наприклад, прилад NPL 632 фірми Nikon, SET X1 фірми Sokkia тощо.

- **Рутинні** – це прилади, точність кутових вимірювань яких може досягати 10", а лінійних 5 мм і більше на кілометр. Ці ЕТ використовують для створення знімальної основи, а також застосовують для виконання електронних тахеометричних зйомок різних масштабів. Серед них можна назвати модель Focus 4 фірми Spectra Precision, 326X фірми Pentax тощо.

- **Безрефлекторні** – це прилади, що працюють без відбивача. Сьогодні ця функція постійно розвивається, а прилади цього класу здатні працювати без застосування відбивача на великих відстанях; такі, як Leica FlexLine, – до 1000 м, а Topcon IS – 1 до 2000 м.

- **Універсальні** – спеціальний клас ЕТ, наприклад, з інтегрованим GPS-приймачем. Точність кутових і лінійних вимірювань висока. Перша такі прилади почала випускати компанія Leica Geosystem моделі SmartStation 1201+, забезпечує високу точність вимірювання кутів 1", ліній 1+1.5 ррм.

Однією з основних переваг SmartStation є можливість виконувати геодезичні роботи за відсутності розвинутої опорної мережі. Ці прилади доцільно використовувати для визначення меж ділянок, які розташовані на значній віддалі від пунктів опорної мережі, а також для розмічувальних робіт на будівельних майданчиках, де видимість перекривається будівлями, обладнанням та технікою. Реально ЕТ TPS1200 та TPS 1200+ зі встановленим на ньому інтегрованим GPS-приймачем може працювати на відстані до 50 км від базової станції. Крім того, прилад можна розмістити в будь-якому зручному місці, не потрібно прокладати опорних ходів, координати точки стояння визначаються за допомогою RTK (кінематика в реальному часі) з точністю 10 мм + 1 рмм, а унікальна вбудована система моніторингу цілісності даних одразу дає змогу перевіряти всі отримані результати вимірювання. У цьому ЕТ передбачена програма автоматичного пошуку та наведення на візирну ціль (призму), що разом із дистанційним управлінням, яке здійснюється через радіомодем, дає змогу прискорити виконання роботи і зменшити кількість виконавців (оператор з відбивачем може виконувати знімання сам, без сторонньої допомоги). Залежно від поставлених задач систему Leica SmartStation можна використовувати окремо, як електронний тахеометр, так і GPS-станцію. (рис. 2).

Таблиця 1

Моделі сучасних електронних тахеометрів

Фірма	Моделі ЕТ
Leica Geosystem	TPS 1201+,1202+,1203+,1205+; TC403,405,407,TCR403,405,407; TC802,803, 805,TCR802,803,805;
Sokkia	SET230(R3T)/330RT(R3T)/530RT(R3T); SETX1/X2/X3/X5; SRX1/X2/X3/X5;
Pentax	R-332NX/323NX/325NX/326NX; W – 822NX/823NX/825NX; V – 227N/228N;
Topcon	GTS-751/753/755/102N/105N/901A/903A; GPT – 3002LN/3003LN/3005LN/7501/7503/ 7505/9001A/9003A/9003M;
Trimble	5601/5602/5603/5605/5503(DR200+); M3/S6(DR300)/S8 High Precision/VX;
Nikon	DTM 362/352/332/522/652; NPL 362/352/332/632;
South	NTS322/325/352R+/355R+/ 352/355/662/665;
Spectra Precision	Focus4/5/10;
FOIF	RTS 705, OTS 600;
Stonex	STS2R, STS5R, STS – 02R;

Таблиця 2

Рекомендована класифікація ЕТ

Клас	Прецизійні	Точні	Рутинні	Безрефлекторні	Універсальні
Марка приладу	Trimble 5601 DR Standart\Leica TDM 5005\Leica TC 2003	Nikon NPL632\ Sokkia SETX1\ Topcon GPT 3102N	Spectra Precision Focus4/South 355R+/ Pentax 326EX	Leica FlexLine\Topcon IS – 1	Leica TPS 1200+
Точність кутових вимірювань	0.5"0.5"0.5"	2"1"2"	7"5"6"	2"1"	1"
Точність лінійних вимірювань, мм + ррм	0,3–0,5мм До 1 км. 1+2;1+2	3+2;1,5+2; 2+2	3+2;2+2;2+2	2+1\2+1	1+1,5

Окремо зупинимось на точності та дальності вимірювання ліній. Щодо точності то, по суті, сьогодні усі електронні тахеометри близькі за класом точності, яка коливається від 1+1 до 3+2 мм на кожен кілометр роботи. Щодо дальності вимірювань, то тут прилади відрізняються, оскільки їхні можливості різні. При роботі з однією призмою максимальна віддаль вимірювань досягає 3000–4000 тис. м, на три призми становить 5000–8000 тис. м. Важливою функцією, над удосконаленням якої працюють приладобудівні фірми, є можливість працювати без відбивача, що забезпечує вимірювання недоступних віддалей. На цьогорічній виставці INTERGEO фірма Leica представила нову модель FlexLine, яка за допомогою спеціальної труби може вимірювати відстані без відбивача до 1000 м. з точністю 2+2 < 500 м, та 4+2 > 500 м. А фірма Topcon демонструвала прилад IS – 1, що може працювати без відбивача на відстані до 2000 м (з точністю 10+10 мм > 250 м) (див. табл. 3).

Таблиця 3

Класифікація сучасних ЕТ за точністю та дальністю вимірювання з відбивачем та без відбивача

Марка	Leica FlexLine TS09	Nikon NPL 632	Sokkia SRX1	Pentax W822NX	South NTS-662	Topcon IS -1	Trimble S8
Вимірювання ліній (мм+ррм) з призмою без призми	1+1.5 1+1.5	3+2 3+2	1,5+2 3+2	2+2 5+2,5	2+2 5+3	2+2 2+2	1+1 3+2
Вимірювання віддалі, м: на 1 призму; на 3 призми	3500 5400	5000 5000	5000 6000	4500 5600	1800 2600	4000 5300	3000 5000
Дальність роботи приладу без відбивача, м	1000	210	500	270	180	2000	800

Ще один параметр, який характеризує сучасні ЕТ, – це реєстрація даних вимірювань. Переважно прилади можуть реєструвати від 10 до 32 тис. символів, крім того, майже всі вони забезпечені картками пам'яті від 32–256 МВ (див. табл. 4). Передавання інформації від джерела до приладу і навпаки здійснюється за допомогою різних портів вводу/виводу: починаючи від стандартного USB та порту RS-232, закінчуючи сучасними технологіями Bluetooth та Wi-Fi (безпроводні технології).

Таблиця 4

Реєстрація даних сучасними ЕТ та можливості передавання інформації

Марка	Leica TDM 5005	Nikon NPL-632	Sokkia SRX1	Pentax 822NX	South NTS-662	Topcon GTS-751	Trimble S8
Реєстрація даних в симв. МВ	36000	10000	64MB	128MB	16MB (40000)	64MB	64MB, 256MB
Порти вводу\виводу	RS-232	RS -232, USB	RS-232, USB, Bluetooth	RS-232, USB	RS -232	RS-232, USB	RS -232, USB, Bluetooth

Електронні тахеометри переважно комплектують акумуляторами, які, як правило, забезпечують безперервне вимірювання кутів та ліній впродовж 10 годин. Фірми-виробники приділяють велику увагу температурним показникам роботи приладів, їхній пило- та водостійкості та їхній масі. Маса сучасних ЕТ – у межах 6–9 кг (див. табл. 5).

Таблиця 5

Технічні параметри сучасних ЕТ (живлення, робоча температура, маса)

Марка	Leica TDM 5005	Nikon NPL-632	Sokkia SRX1	Pentax 822NX	South NTS-662	Topcon GTS-75	Trimble S8
Час роботи, год	5.5	6	9.5	8	8	12	11
Робоча Температура, градуси С	від -20 до +50	від -20 до +50	від -20 до +50	від -20 до +50	від -20 до +50	від -20 до +50	від -20 до +50
Маса, кг	8,7	5,1	6,5	6,3	6	6,1	5,2

Гарантія на прилади надається всіма фірмами – виробниками або їхніми дистриб'юторами і становить 1–4 роки. Окремо надається гарантія на оптику – до шести років (див. табл. 6). Найбільші гарантії на продукцію дають фірми Nikon та Sokkia – 48 та 36 міс. відповідно. Проте, які б гарантії не надавали ці фірми, лідером на ринку за якістю та надійністю продукції була і залишається швейцарська фірма Leica GeoSystem. ЕТ її виробництва застосовуються у всіх сферах геодезії, в будівництві, інженерній справі тощо.

Щодо вартості ЕТ, то вона переважно формується за рахунок класу точності кутових вимірів та за функціональними можливостями приладу та самого програмного забезпечення. Вартість різних моделей ЕТ становить від 7 до 50 тис. \$.

Таблиця 6

Гарантійні строки (без урахування гарантії на оптику) та ціни на деякі моделі сучасних ЕТ

Марка	Leica TDM 5005	Nikon NPL-632	Sokkia SRX1	Pentax 822NX	South NTS-662	Topcon GTS-75	Trimble S8
Гарантія, місяці	24	48	36	24	24	24	24
Ціна, долари США	від 42 тис.	від 16 тис.	від 30 тис.	від 14 тис.	від 7 тис.	від 15 тис.	від 25 тис.

Щоб привернути увагу фахівця, кожен із виробників намагається створити унікальний дизайн, спростити управління системою, наголошуючи на функціональних можливостях приладу, а саме: розмічування колової кривої, визначення недоступної віддалі і висоти споруди, вимірювання

у вертикальній та похилій площинах, обчислювання площі та периметра. Прилади в автоматичному режимі вводять поправки за кривину Землі та рефракцію, реєструють температуру, тиск тощо. Цими можливостями забезпечені практично всі сучасні електронні тахеометри. Основними напрямками удосконалення можливостей сучасних електронних тахеометрів є забезпечення необхідного класу точності, підвищення можливостей і точності вимірювання довжин ліній, а також горизонтальних та вертикальних кутів. Актуальним залишається удосконалення можливостей роботи приладів без застосування відбивачів, автоматизація вимірювань, розширення функціональних можливостей приладів через удосконалення і розширення програмного забезпечення та інтегруванням їх, як вже зазначалось, з системами GPS, спрощення управління цими системами та можливість обробки узагальнюючих результатів аналізу виконаних вимірювань.

Особливим попитом електронні тахеометри користуються в інженерній геодезії. Наприклад, ET фірми Leica (моделі Leica TCR 405power та Leica TCR802power). Вбудоване програмне забезпечення і набір прикладних програм дають змогу прискорити та полегшити роботу. Програма “Виносу відносно ліній та дуг” уможливує винесення або перевірку положення точок щодо заданих ліній та дуг. Елементи точки, що виносяться, обчислюються за допомогою перпендикуляра відносно вибраної базової лінії або дуги. Базова лінія може бути зміщена паралельно або повернута залежно від вимог розмічування. Програма “Обернена засічка” дає змогу встановити інструмент в будь-якому місці та визначити координати точки стояння, висотну відмітку та орієнтування горизонтального круга. Програма “Положення недоступної точки” (наприклад, така, що розміщена під мостом) дає змогу визначити цю точку за допомогою результатів вимірювань допоміжної точки, що розміщена під тією, яка визначається, з подальшим візуванням на визначувану точку. Функція “Визначення прихованої точки” дає змогу визначити координати точки, яка перекрита будівлями або технікою, за допомогою спеціальної віхи, на кінцях якої розміщені відбивачі. Під час вимірювань віха розташовується під будь-яким кутом, а програма здійснює виміри прихованої точки так, ніби вимірювання здійснюється прямим візуванням на неї. Крім того, у цих електронних тахеометрах є програми: “Шляховик”, що дає змогу виконувати розмічування і контроль положення траси при будівництві доріг та інших криволінійних об’єктів, а також опція. “Координатна геометрія”, що охоплює низку функцій: пряму та обернену геодезичну задачу, трасування, різноманітні комбінації перетинів (азимут – азимут, відстань – відстань, по 4 точках) визначення ортогональних та подовжніх відступів. Координати обчислених точок можуть бути відразу винесені в натуру.

Висновки та рекомендації

Узагальнюючи результати аналізу, можна зробити такі висновки і дати рекомендації:

1. Електронні тахеометри, які сьогодні виготовляють приладобудівні фірми: Trimble, Leica Geosystems, Sokkia, Topcon, South, Pentax, Nikon, Spectra Presicion та інші забезпечують найрізноманітніші вимоги користувачів щодо точності, швидкодії, можливостей програмного забезпечення, рівня автоматизації.

2. Доцільно класифікувати електронні тахеометри на групи: прецизійні, точні, рутинні, універсальні, враховуючи точність кутових та лінійних вимірювань, і технічні можливості самих приладів, залежно від яких електронні тахеометри можуть бути використані для різноманітних цілей, таких, як: у метрології, для високоточних інженерно-геодезичних робіт, для кадастрових, топографічних та розмічувальних робіт, у будівництві тощо.

3. Велике зацікавлення у фахівців викликають електронні тахеометри, що забезпечують доволі високу точність вимірювання кутів та ліній. На нашу думку, до таких можна зарахувати прилади фірми Leica Geosystem, Nikon, Topcon та Trimble. Крім цього, велике зацікавлення викликають електронні тахеометри, що можуть працювати без відбивача на великих відстанях (Leica Geosystem, Topcon), а також інтегровані з GPS-системи (фірма Leica Geosystem).

4. Серед електронних тахеометрів, взятих для порівняння, більше переваг мають прилади фірми Leica Geosystems, яка є світовим лідером у розробленні та інтеграції геодезичного облад-

нання для створення високоточних та надійних систем автоматизованого моніторингу інженерних споруд та інших об'єктів. Важливим аргументом цієї фірми є пріоритет на якість та надійність роботи електронних тахеометрів, про що свідчить впровадження у виробництво ET Leica 1200+ та ET Leica SmartStation 1201+, 1202+, 1203+1205+, з інтегрованим GPS-приймачем.

5. Основними перспективами розвитку електронних тахеометрів залишається: автоматизація вимірювань, удосконалення можливості роботи приладів без відбивачів, збільшення можливостей системи накопичення даних, розширення програмного забезпечення та функцій, актуальних для інженерної геодезії. Враховуючи, що ринок робіт із збирання, опрацювання та аналізу геопрос-торових даних розширяється, то пріоритетними під час вибору приладів та технологій стає не їхня ціна, а надійність, якість і рівень сервісного обслуговування.

Література

1. Шевченко Т. Г., Мороз О. І., Тревого І. С. Геодезичні прилади : Підручник – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006. – 462 с.
2. Костецька Я.М. Геодезичні прилади. Частина 2. – Львів: Престиж інформ, 2000. – 324 с.
3. Грошев В.В., Романчикова М.С. Тенденции и перспективы дальнейшего развития технологий // Геопрофи. – 2008. – № 5. – С. 6–12.
4. Pudlo M. Tachimetry – Podsumowanie Roku 2005 // Geodeta. – 2005. – № 12. – S. 64–73.
5. TACHIMETRY//DODATEK Geodeta. – 2008. – NR 12. – 42 s.

Сучасні електронні тахеометри, тенденції розвитку та класифікації електронних тахеометрів

І. Тревого, А. Баландюк

Детально проаналізовано сучасні електронні тахеометри, які продукують приладобудівні фірми світу. До уваги взято основні характеристики і технічні можливості приладів. Розроблено класифікацію електронних тахеометрів, визначено пріоритети, тенденції і перспективи їхнього розвитку. Дано оцінку розробкам найвідоміших фірм. Зроблено висновки та подано рекомендації.

Современные электронные тахеометры, тенденции развития и классификации электронных тахеометров

И. Тревого, А. Баландюк

Проведен детальний аналіз сучасних електронних тахеометрів, які виробляють приборостроительні фірми світу. До уваги взяті основні характеристики і технічні можливості приладів. Розроблено класифікацію електронних тахеометрів, визначені пріоритети, тенденції і перспективи їх розвитку. Дана оцінка розробкам найвідоміших фірм. Сделаны выводы и рекомендации.

Modern electronic taheometry, progress trends and classifications of electronic taheometers

I. Trevogo, A. Balandyuk

The detailed analysis of modern electronic taheometers which product the instrument-making firms of the world is conducted. The basic characteristics and technical feasibilities of devices are taken into account. Classification of electronic taheometers is developed, priorities, tendencies and perspectives of their development are determined. An estimate for developments of the known firms is given. Conclusions and recommendations are drawn.