

## Електронні тахеометри

Електронним тахеометрам (Total Station) притаманна автоматична реєстрація результатів вимірювань. В електронних тахеометрах, як і в електронних теодолітах, застосовується імпульсна або динамічна система відлічування та визначення напрямків.

Сьогодні електронні тахеометри випускають всі відомі приладобудівні фірми: Leica, Trimble-Zeiss (Trimble-Nikon), Geotronics, Sokkia, УОМЗ, Topcon (Японія) та інші.

Основними напрямками удосконалення можливостей сучасних електронних тахеометрів є забезпечення необхідного класу точності вимірювання довжин ліній, зокрема без застосування відбивачів; автоматизація вимірювань, а також урізноманітнення функціональних можливостей приладів. Розширення функціональних можливостей електронних тахеометрів полягає в удосконаленні і розширенні програмного забезпечення переважно для розв'язання різноманітних інженерно-геодезичних задач; надання можливостей сканування; інтеграції, наприклад з системами GPS.

Прилади, які сьогодні випускають, забезпечують різноманітні вимоги користувачів щодо точності, швидкодії, можливостей програмного забезпечення тощо. Наприклад, середня квадратична похибка вимірювання кутів електронними тахеометрами різних класів становить 0,5... 10", а віддалі за однакових умов можуть бути виміряні майже з тією самою точністю із застосуванням відбивачів, без них або з відбивною плівкою.

Треба відзначити, що можливості електронних тахеометрів щодо вимірювання віддалей істотно удосконалилися. Зокрема, значно збільшилися віддалі, вимірювані без відбивача. Тахеометрами фірми Sokkia серії SPX вимірюють віддаль порядку 500 м без відбивача з точністю  $\pm(3\text{мм} + 2\text{ppm})$ . Тахеометрами фірми Leica серії TC 1200+, а також Flexline TS06 і TS09 можна виміряти віддаль 1 000 м без відбивача з точністю  $\pm(2\text{мм} + 2\text{ppm})$  до 500 м і  $\pm(4\text{мм} + 2\text{ppm})$  більше ніж 500 м. Фірма Topcon має серію тахеометрів GPT9000, якими можна виміряти без відбивача віддаль до 2 000 м з точністю  $\pm(10\text{мм} + 10\text{ppm})$ .

Програмне забезпечення електронних тахеометрів DTM 522 (Trimble-Nikon), TC 600 (Leica), SET 4<sub>110</sub> (Sokkia), 4 TA 5 (УОМЗ) передбачає звичайні для тахеометричного знімання обчислення горизонтальних прокладень ліній, перевищень, висот, приростів координат, координат точок тощо. Разом з тим, кожна з фірм-виробників акцентує увагу користувачів на додаткових можливостях приладу. Так, у програмному забезпеченні електронних тахеометрів серії ДТМ 502, які відрізняються один від одного лише точністю кутових вимірювань (наприклад, середня квадратична похибка вимірювання кута ДТМ 502 становить 1", а ДТМ 532 – 2"), передбачені такі функції: розмічування колової кривої; визначення недоступної віддалі і висоти споруди; вимірювання у вертикальній і похилій площинах. У режимі "координатна геометрія" є можливість розв'язувати пряму і обернену геодезичні задачі; обчислювати площу і периметр. Батарея живлення приладу забезпечує приблизно 10 годин безперервних вимірювань кутів і ліній.

Тахеометр SET 4<sub>110</sub> належить до електронних тахеометрів Sokkia серії 110 (SET 2<sub>110</sub>, SET 3<sub>110</sub>, SET 4<sub>110</sub>), які мають внутрішню пам'ять до 3 000 точок. На віддалі до 80 м вимірювання можна виконувати без відбивача, на відбивну плівку.

Відомі координати пунктів можна вводити безпосередньо клавіатурою або передати з комп'ютера. Крім того, програмне забезпечення SET 4<sub>110</sub> дає змогу визначити недоступну похилу віддаль між точками та її ухил, висоту недоступної споруди, вимірювати кути способом повторень, виконувати зворотну засічку, виносити точки в натуру, виконувати вимірювання із зміщенням.

Фірма Topcon пропонує електронні тахеометри серії GTS-230N (233N, 235N, 236N, 239N) і GTS-750 (751, 753, 725). Прилади кожної серії відрізняються один від одного тільки точністю вимірювання кута. Для тахеометрів серії GTS-230N середня квадратична похибка вимірювань кутів становить 3", 5", 6", 9" відповідно до названих моделей, а для тахеометрів серії GTS-750 – 1", 3" і 5" також відповідно до послідовності названих моделей серії.

Програмне забезпечення тахеометрів обох серій передбачає звичайні операції та відповідні обчислення, пов'язані з тахеометричним зніманням: вимірювання кутів (також від орієнтованого напрямку), віддалей, визначення координат тощо. Крім того, є можливість виконання спеціальних вимірювань з обчисленням їхніх результатів, наприклад, промірів кутових, лінійних і площиною, а також визначення висот недоступних точок, вимірювання недоступних віддалей, обчислення площ і виконання розмічувальних робіт.

Принципову конструкцію електронного тахеометра серії GTS-230N подано на рис. 1, де 1 – затискач трегера; 2 – юстувальний гвинт сферичного рівня; 3 – сферичний рівень; 4 – дисплей (моделі GTS-233N/ GTS-235N); 5 – об'єктив зорової труби; 6 – покажчик створу; 7 – закріпні гвинти рукоятки транспортування приладу; 8 – мітка висоти приладу; 9 – окуляр оптичного центрира; 10 – підіймальний гвинт; 11 – оправа трегера; 12 – циліндричний рівень; 13 – навідний гвинт вертикального круга; 14 – закріпний гвинт вертикального круга; 15 – окуляр зорової труби; 16 – пристрій захоплювача зорової труби; 17 – фокусувальний гвинт зорової труби; 18 – візир; 19 – затискач батареї живлення; 20 – вбудована батарея живлення; 21 – навідний гвинт горизонтального круга; 22 – закріпний гвинт горизонтального круга; 23 – рознімання живлення; 24 – рознімання під'єднання.

Електронні тахеометри серії GTS-750, що мають загалом таку саму конструкцію, що й серії GTS-230N, є досконалішими від останніх. Наприклад, дисплей в них устаткований сенсорною панеллю, а навідні гвинти – двошвидкісні.

Фірми Trimble-Zeiss і Leica пропонують різноманітні тахеометри – від інженерних до високоточних, наприклад, серії Rec Elta (Elta) та серії TC відповідно. Тахеометри Rec Elta 2 і TC 2003 (Leica) належать до високоточних.

Електронні комп'ютеризовані тахеометри мають приставку Rec. Її назва походить від назви реєстратора вхідної інформації REC 500, що, по суті, є переносним комп'ютером. Тахеометри, що конструктивно об'єднані з таким комп'ютером, названі Rec Elta 13, Rec Elta 14, Rec Elta 15, а також Rec Elta 2, Rec

Elta 3, Rec Elta 4, Rec Elta 5. Вони відрізняються один від одного переважно точністю та радіусом дії.

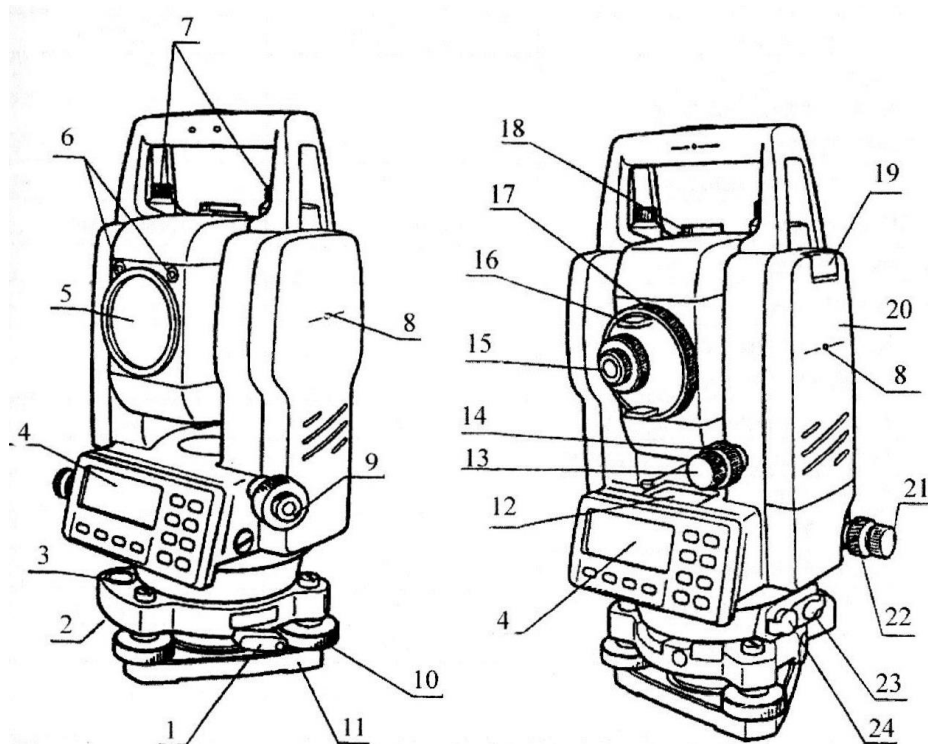


Рис. 1. Електронний тахеометр серії GTS-230N

Комп'ютерні тахеометри типу Rec Elta 2, 3, 4, 5 упоряджені компактною вимірювальною комп'ютерною системою із внутрішньою реєстрацією на змінному накопичуванні даних і мають комп'ютерне забезпечення від високоточних вимірювань у мережах згущення до кадастрових, топографічних та простіших вимірювань під час будівництва. Змінний внутрішній накопичувач має ємність близько 2 000 рядків даних (256 КБ). Додатковий інтерфейс використовують для двоканальної передачі даних на ЕОМ. Вбудований блок керування автоматично компенсує похибки візування, положення осей приладу та індексу вертикального круга. Результати вимірювань автоматично коригуються поправками за кривину Землі та рефракцію. Автоматично реєструються температура та тиск. Програмне забезпечення дає можливість універсального використання приладу, а саме: виконувати вимірювання на станції з відомими координатами; визначати координати у державній або місцевій системах координат; виносити точки по координатах; визначати ортогональне розташування пункту стосовно осей вихідної системи координат; визначати висоти об'єктів, площі та прогони.

Електронні тахеометри серії Elta – Elta S10, Elta S20 упоряджені автоматизованою системою самонаведення з дистанційним керуванням. Вони рекомендовані як роботизовані комп'ютерні станції. У тахеометрах, зокрема, передбачено співвісний давач відбивача, вбудований у зорову трубу, який автоматично орієнтує її за максимумом відбитого сигналу. Це дає можливість повністю виключати помилки спостерігача.

Тахеометр TC 2003 за багатofункціональністю не поступається описаному Rec Elta 2. Як і у згаданих, та й в інших моделях в нього співвісні оптичні

кутомірна та віддалемірна частини. Прилад обладнано двоосьовим автоматичним рідинні компенсатором та двома однаковими, діаметрально протилежно розташованими пультами керування, що мають табло на 8 рядків по 35 знаків. У двох нижніх рядках можуть бути висвітлені горизонтальний і вертикальний кути або азимут і горизонтальне прокладення лінії, або похила віддаль і вертикальний кут, перевищення та висота над поверхнею віднесення, координати  $x$  і  $y$ . Коли тахеометр використовують для розмічувальних робіт, на табло, можна висвітлити відхилення напрямку від заданого або азимута і горизонтальної проекції. Результат вимірювань реєструють реєстратором REC, що має пам'ять ємністю 64 КБ. Програмне забезпечення тахеометра дає змогу визначати координати точки стояння, орієнтувати круг за напрямком, обчислювати координати пунктів спостережень та віддалей між ними, виконувати просторове винесення пунктів в натуру.

Тахеометри Geodimeter серії 4000 та 500 Geodimeter 510, 520, 540 фірми Geotronics мають високий рівень автоматизації. Такий тахеометр складається з двох частин: стаціонарної базової станції та рухомої станції, яку встановлюють на пікетах. Необхідна умова функціонування систем – наявність оптичної видимості (оптичного зв'язку) між базовою та рухомою станцією.

Між обома станціями є двосторонній радіозв'язок. Систему може обслуговувати одна людина. Базову станцію встановлюють на пункті, вводять його координати та висоту і такі самі дані вихідної точки, на яку станція наведена. Після цього тахеометр на базовій станції наводять на точку, в якій встановлено відбивач рухомої станції і вмикають режим автоматичного відстежування. Внаслідок цього зорова труба тахеометра автоматично наводиться, на відбивач рухомої станції. Коли оптичні осі станцій суміщуються, вмикається режим автовідстежування та вимірювання віддалей і кутів. Тепер труба базової станції буде переміщатися за рухомою станцією, відстежуючи її рух. Для роботи системи необхідний безперервний зв'язок між базовою та рухомою станціями. Роботою обох станцій керує оператор, що перебуває біля рухомої станції. Горизонтальні і вертикальні кути вимірюють із середньою квадратичною похибкою 2", а віддалі у точному режимі  $\pm(2 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6}L)$ , стандартному  $\pm(3 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6}L)$ , відстежування  $\pm(10 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6}L)$ .

Електронними тахеометрами фірми Sokkia серії 030R (SET1<sub>030R</sub>, SET2<sub>030R</sub>, SET3<sub>030R</sub>) та споріднених з нею серії 30R і 130R можна вимірювати віддалі до 350 м без відбивача. Прилади відрізняються один від одного тільки середньою квадратичною похибкою вимірювання кутів: SET1<sub>030R</sub> – 1"; SET2<sub>030R</sub> – 2"; SET3<sub>030R</sub> – 3". Програмне забезпечення та технічні можливості тахеометрів є звичайними для приладів такого класу. На додаток до внутрішньої пам'яті на 8 800 точок існує можливість запису даних на карту пам'яті Compact Flash Type ємністю до 128 МБ. Велика площа дисплею дає можливість одночасно контролювати великий обсяг інформації.

На відміну від тахеометрів серії 030R, тахеометрами серії 110M (SET3<sub>110M</sub>, SET4<sub>110M</sub>) можна вимірювати віддалі наведенням на призму або на відбивну плівку. Проте вони можуть автоматично наводитись на ціль на віддалі до 800 м. Точність вимірювання віддалей така сама, що й в тахеометрах серії 030R.

Результатом подальшого удосконалення електронних тахеометрів фірми Sokkia стали тахеометри серії SETX (SETX1, SETX2, SETX3, SETX5), які відрізняються один від одного точністю вимірювання кутів: 1", 2", 3", 5" відповідно до послідовності перелічених моделей. Тахеометрами цієї серії можна вимірювати без відбивача віддалі до 500 м з точністю 3 мм+2ppm. Такої точності вдається досягти завдяки усередненню триразового вимірювання тієї самої віддалі на трьох різних частотах випромінювання. Тахеометри серії SETX можуть працювати в автоматизованому режимі, а також мати бездротовий зв'язок з Notebook. Вони мають потужне інженерно-геодезичне програмне забезпечення, зокрема великого обсягу пакет програм для будівництва шляхів та їхнього обслуговування. Ємність внутрішньої пам'яті становить 64 Мб.

Одночасно з електронними тахеометрами серії SETX фірма Sokkia випустила на ринок тахеометри серії SRX, а також NET1 і NET05. На особливу увагу заслуговує останній – NET05. Цей автоматизований тахеометр має великі точності вимірювань: кутів – 0,5"; віддалей з відбивачем 0,8 мм+1 ppm і майже з такою самою точністю (1 мм+1 ppm) вимірювання без відбивача віддалей до 40 м. Завдяки такому рівню точності вимірювань тахеометр NET05 використовують для контролю у автомобілебудуванні; встановленні елементів мостів, турбін та іншого великогабаритного обладнання. Крім того, з використанням нового програмування Observer NET05 можна застосовувати для контролю зведення споруд, а також вимірювання їхніх деформацій.

Фірми Leica і Trimble пропонують електронні тахеометри різної точності та можливостей, якими також можна виконувати вимірювання певних віддалей без відбивача. Це, зокрема, тахеометри фірми Leica серії TC 400 (TC/TCR 403; TC/TCR 405; TC/TCR 407) і TC 800 (TC/TCR 802; TC/TCR 803 і TC/TCK 805). Прилади кожної серії відрізняються один від одного тільки точністю вимірювання кутів, наприклад, від 3", 5", 1" у серії TC 400 і 2", 3", 5" у серії TC 800 (відповідно до послідовності перелічених моделей), а також точністю приведення вертикальної осі приладу у прямовисний стан. Тахеометри обох серій забезпечують вимірювання без відбивача віддалей до 300 м з точністю 3 мм+2 ppm. Тахеометри TC 800 загалом точніші і мають ширше програмне забезпечення, ніж тахеометри TC 400.

Фірма Trimble пропонує електронні тахеометри серії Trimble 3600 DR Total Station. Тахеометри цієї серії рекомендовані для топографічного і кадастрового знімання, а також для забезпечення потреб будівництва. У тахеометрах Trimble 3600DR пакет програмного забезпечення за бажанням замовника може бути значно розширений. Моделі серії – 3601DR, 3602DR, 3603DR, 3605DR – відрізняються одна від одної точністю вимірювання кутів: 1,5", 2", 3", 5" відповідно.

Без відбивача ними можна вимірювати у стандартному режимі віддалі до 120 м з точністю 3 мм+2 ppm.

Тахеометри обох фірм мають сучасне програмне забезпечення, наприклад, внутрішня пам'ять TC 800 вміщує 10 000 блоків даних.

У тахеометрах серії Trimble 3600 DR, крім власного програмного забезпечення Zeiss Elta, є можливість використовувати програмний продукт

інших виробників. Ємність внутрішньої пам'яті за використання змінної панелі керування Geodimeter CU становить 8 000 точок.

У деяких моделях сучасних електронних тахеометрів, які випускають фірми Trimble (серія Trimble 5600 Total Station) і Leica (серія TC 1200+), поєднані численні якості, необхідні для високопродуктивних приладів. Тахеометри фірми Trimble серії 5600, 5601, 5602, 5603, 5605 – так само, як і тахеометри фірми Leica серії TC 1200+, 1201+, 1202+, 1203+, 1205+, відрізняються один від одного значенням середньої квадратичної похибки вимірювання кутів: 1", 2", 3", 5" відповідно до послідовності названих моделей.

Тахеометрами Trimble 5600, з устаткованими віддалемірними системами DR 200+ або DR 300+ (віддалеміром DR 300+ устаткований тахеометр 5602) можна вимірювати без відбивача віддалі до 600 м з точністю  $+(5 \text{ мм} + 3 \text{ ppm})$ . Тахеометри Trimble 5600 мають доволі високий рівень автоматизації: автоматизоване наведення на ціль вони можуть виконувати на віддалі до 120 м, а працювати у режимі відстеження на віддалі до 2 400 м, можливий автоматизований пошук візирної цілі. Передбачене інтегрування програмного забезпечення тахеометрів і OP8 та передавання до тахеометра інформації GPS-знімання.

Модифікації тахеометрів фірми Leica серії TC 1200+ за технічними характеристиками не поступаються тахеометрам Trimble 5600, а у деяких випадках переважають їх. Зокрема, ними можна вимірювати без застосування відбивача лінії завдовжки 1 000 м з точністю  $4 \text{ мм} + 2 \text{ ppm}$ , а з відбивачем з точністю  $1 \text{ мм} + 1,5 \text{ ppm}$ . За рівнем автоматизації тахеометри Leica не поступаються тахеометрам Trimble.

Треба зауважити, що електронні тахеометри серії TC, а, зокрема, і TC 1200+ фірми Leica мають загалом різноманітні функціональні можливості та різний рівень автоматизації, які можна визначити за символікою (літерами), що слугують для позначення певної модифікації приладу. Позначення TC означає, що прилад має функції суто тахеометра, тобто призначений переважно для вимірювання кутів і віддалей інфрачервоними віддалеміром (IR) з відбивачем, а TCR, що віддалеміром можна вимірювати віддалі ще й без застосування відбивача (RL). Якщо до трьох попередніх додана літера M – TCRM – це тахеометр, що має такі самі властивості, що й попередні, але моторизований, тобто може автоматично наводитись на ціль. Модифікація TCA означає, що приладом не можна вимірювати віддалі без відбивача, проте він моторизований і може вести автоматичний пошук цілі (ATR) і упоряджений покажчиком створа (EGL). Модифікація TCP, маючи всі властивості TCA, може здійснювати швидкий пошук відбивача (PS). Тахеометр модифікації TCRA – моторизований, з автоматичним пошуком цілі, обладнаний віддалеміром для вимірювання віддалей без застосування відбивача і покажчиком створа. І, врешті, модифікація TCRP, яка має всі властивості TCRA, може вести швидкий пошук цілі.

Тільки NET05 фірми Sokkia-Торсон і тільки у 2007 р. дещо порушив монополію фірми Leica стосовно приладів 0,5" точності. Втім, хоча електронний тахеометр TDM 5005 (TDA 5005) фірми Leica мало не на 10 років старший від NET05, він має неперевершені технічні можливості. Наприклад, віддаль до 100 м

тахеометром можна виміряти з точністю до 0,2 мм; а двоосьовий компенсатор встановлення вертикальної осі приладу прямовисно має точність 0,3".

Нові електронні тахеометри фірми Leica серії Flexline, а саме TS 02, TS 06 і TS 09, відрізняються один від одного тільки оптикою та обладнанням. Завдяки цьому споживач сам може скласти прилад відповідно до потреб. Тахеометр TS 09 порівняно з TS 02 і TS 06 має підвищену точність кутових і лінійних вимірювань. За іншими технічними характеристиками він мало відрізняється від електронних тахеометрів серії TC 1200+ (Leica), які прийшли на зміну тахеометрам серії TC 1200 (TPS 1200).

Разом з тим, фірма Leica пропонує систему Leica System 120 – Smart Station – електронний тахеометр TC 1200+ з інтегрованим GPS – приймачем – Leica GPS 1200.

Завдяки сумісності і простому взаємному обміну інформацією між GPS і TC вона за необхідності може бути відображена на дисплеях обох приладів одночасно або кожного окремо. Керування тахеометром і GPS-приймачем здійснюється клавіатурою TC. Кожний з приладів можна, звичайно, використовувати й окремо за ситуацією.

Тахеометр TC 1200+ із встановленим на ньому інтегрованим GPS-приймачем одержав назву SmartStation.

Однією з основних переваг SmartStation є можливість виконувати геодезичні знімальні або розмічувальні роботи за відсутності опорної мережі. Достатньо, щоб базова станція GPS була розміщена на віддалі 40...50 км від точки встановлення SmartStation. GPS-приймачем визначають координати принаймні двох взаємно орієнтованих точок установа SmartStation. Позаяк орієнтування лінії, що з'єднує ці дві станції, відоме, є можливість виконати будь-які перетворення координат точок знімання або розмічування.

Систему 1200 (Leica SmartStation) фірма рекомендує використовувати для виконання геодезичних робіт на територіях, які не мають опорної мережі, на яких важко або неможливо виконувати повне знімання GPS-способом і доводиться так чи інакше вдаватися до знімання тахеометром. Систему 1 200 доцільно застосовувати, наприклад, для визначення меж сільськогосподарських угідь, які розташовані на значній (більше ніж 5 км) віддалі від пунктів опорної мережі, а також для розмічувальних робіт на будівельних майданчиках, де пункти опорної мережі збереглися тільки частково, а видимість перекривається будівельним обладнанням та технікою. Крім того, фірма пропонує використовувати SmartStation для знімання об'єктів комунального господарства у містах. Вважають, що застосування Leica SmartStation скорочує до 50% час на роботи з підготовки до знімання.

Раніше було вказано, що одним із напрямів розширення функцій електронних тахеометрів є надання їм можливостей сканування. Перші електронні тахеометри, устатковані обладнанням для виконання робіт із сканування, з'явилися у 2002-2005 рр. Розвиваючи цей напрям, фірма Topcon випустила електронний сканувальний тахеометр GPT-9000IS. Прилад являє собою фактично фототахеометр. Він обладнаний двома цифровими відеокамерами, що мають роздільну здатність 1,3 мегапіксела. Одна з камер розташована на візирній осі зорової труби тахеометра, інша, як оглядова, у його верхній люнетній частині.

Окрім відеокамер, прилад обладнано серводвигунами. Приладом можна визначати просторове положення до 20 точок за секунду. Інформація про розташування точок зберігається у пам'яті приладу, що має програму TopSURVIS. Програма дає можливість опрацьовувати накопичену інформацію. Загалом до переваг сканувальних тахеометрів належать можливість висвітлення на екрані приладу об'єкта сканування.

Крім зазначених особливостей, притаманних сканувальним електронним тахеометрам, GPT-9000IS має звичайні властивості електронного тахеометра.

До електронних сканувальних тахеометрів, що конкурують з тахеометрами фірми Topcon, належать електронні сканувальні тахеометри фірми Trimble S8 і Trimble VX. Остання модель за технічними характеристиками фактично не поступається сканувальним тахеометрам фірми Topcon.

Фірми-виробники одночасно із постачанням електронного тахеометра передають користувачеві керівництво з експлуатації, в якому є описання конструкції приладу і його функціональних особливостей, методика роботи з приладом, а також виконання перевірок і юстувань його. Методика експлуатації приладу залежить від його призначення, точності, функціональних можливостей і програмного забезпечення. Програмне забезпечення моделей приладів однієї серії зазвичай однакове, проте програмне забезпечення приладів двох, наприклад, послідовних серій однієї фірми може бути різним. Кожна з фірм виробників віддає перевагу певним конструктивним особливостям приладів, а саме: загальному дизайну, конструкції панелей керування, програмному забезпеченню тощо. Щоправда, варто зауважити, що попри відмінності панелей керування, загальні принципи роботи з електронними тахеометрами є спорідненими для всіх приладів.

Загалом доступ до програмного забезпечення більшості електронних тахеометрів обмежений спеціальними паролями фірм-виробників. Користувач може тільки вводити у мікропроцесор поправки щодо перевірок і досліджень приладу.