

УДК 528.04

ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТИСТАНЦІЇ LEICA MS60 З МЕТОЮ ПРОВЕДЕННЯ ВИСОКОТОЧНОГО ГЕОПРОСТОРОВОГО МОНІТОРИНГУ

І. Тревого

Національний університет “Львівська політехніка”

А. Горб

Leica Geosystems

О. Мелешко

Навігаційно-геодезичний центр, м. Харків

Ключові слова: мультистанція, спостереження, високоточний геопросторовий моніторинг (ВГМ)

Вступ

Зберегти життя та майно – це гасло стисло і практично характеризує призначення високоточного геопросторового моніторингу (ВГМ). Наука, авіакосмічна промисловість, промислове машинобудування, авто/суднобудування, цивільне та промислове будівництво, будівництво енергетичних або транспортних споруд та тунелювання – напевно, простіше перелічити сфери економіки, в яких немає місця для ВГМ.

Важливість ВГМ зростатиме, особливо в умовах неминучої урбанізації, адже безупинно підвищується роль міст у розвитку суспільства та економіки. Наслідками урбанізації є непропорційна насиченість великих міських центрів об'єктами транспортно-трубопровідної та енергетичної інфраструктури; природні ландшафти, часом велетенські, перетворюються на штучні зі щільною забудовою. Місто захоплює гори-сту місцевість, тунелі пронизують скелі, багаторівневі транспортні розв'язки стають все наймовірнішими.

Фактично, людство створило для себе таке середовище, в якому конче необхідно своєчасно оцінювати потенційні структурні зміни, щоб надалі мати достатньо часу для виявлення будь-якої загрози для цивільної безпеки або ризику для майна та для запобігання їм.

Постановка проблеми

Усвідомлюючи важливість такого роду діяльності, як ВГМ, профільним фахівцям необхідно чітко уявляти можливі методи для повноцінного розв'язання задач моніторингу. Через велику різноманітність приладів на всесвітньому ринку, навіть якщо визначено метод розв'язання задач ВГМ, існує проблема вибору програмно-апаратного комплексу для дієвого та економічно ефективного моніторингу.

Постановка завдання

Тепер найчастіше використовуються методи ВГМ, зокрема: методи GNSS-спостережень, координатно-вимірювальні системи, лазерно-оптичні методи, голографічні та фотограмметричні методи [2]. У цій статті зосередимось на лазерно-оптичних методах. За результатами виконання реального моніторингового проекту запропоновано технічно бездоганний та економічно виправданий варіант.

Виклад основного матеріалу

Огляд сучасних методів

Не вдаючись у подробиці роботи лазерів, розглянемо модельний ряд сучасних координатно-вимірювальних систем швейцарського виробника *Leica Geosystems*, принцип дії яких оснований на використанні лазерно-оптичних методів: трекари, лазерні сканери, електронні роботизовані тахеометри та мультистанції (табл. 1).

Таблиця 1

Сучасні координатно-вимірювальні системи швейцарського виробника Leica Geosystems

Вид приладу	Трекер	3D-сканер	Тахеометр	Мультистанція
Модель приладу	Leica AT401	Leica P40	Leica TS16	Leica MS60
Точність кутових вимірювань	15 мкм + 6 мкм	8"	1"	1"
Точність вимірювань відстані	~10 мкм	1,2 мм + 10 ppm	1,5 мм + 1,5 ppm (на призму)	1,5 мм + 1,5 ppm (на призму)
Діапазон вимірювань	по горизонталі: +/- 360° по вертикалі: +/- 145° робоча зона: 320 м	по горизонталі: +/- 360° по вертикалі: +/- 270° робоча зона: 270 м	по горизонталі: +/- 360° по вертикалі: +/- 270° робоча зона: 1000 м	по горизонталі: +/- 360° по вертикалі: +/- 270° робоча зона: 2000 м
Умови роботи	висота над рівнем моря від -700 до 5500 м, вологість 95 % (без конденсату), робоча температура: від 0° до +40 °C IP54	висота над рівнем моря від -700 до 5500 м, вологість 95 % (без конденсату), робоча температура: від -20° до +50 °C IP54	висота над рівнем моря від -700 до 5500 м, вологість 95 % (без конденсату), робоча температура: від -20° до +50 °C IP55	висота над рівнем моря від -700 до 5500 м, вологість 95 % (без конденсату), робоча температура: від -20° до +50 °C IP65
Вартість приладу (USD)	~150 тис. USD	~75 тис. USD	~25 тис. USD	~45 тис. USD

Лазерні трекери

Лазерні трекери (рис. 1) – це найдорожчі вимірювальні прилади, проте вони незамінні, коли постають завдання моніторингу великих об'єктів з надвисокою точністю: це метрологічне забезпечення, космічне та літакобудування, калібрування верстатів, центрування силових агрегатів та прецизійних об'єктів [3].

Лазерні сканери

Лазерні сканери (рис. 2) визначають 3D-координати точок з надзвичайною швидкістю – 1 млн точок за секунду з визначеним кроком. Для кожної точки, крім координат, отриманих з геодезичною точністю, є відомості про реальний колір та інтенсивність відображення. Результатом роботи лазерного сканера є хмара 3D-точок, отримані дані використовуються для знімання складних поверхонь великої площини.



Рис. 1 Лазерний трекер Leica AT401



Рис. 2. Лазерний сканер Leica P40

Для моніторингу лазерні сканери застосовуються під час створення серйозних інженерних та інфраструктурних проектів (знімання дамб, тунелів), у промисловості та суднобудуванні (технічний нагляд та контроль якості будівництва великих промислових комплексів, аналіз корпусів суден у будь-який момент їх будівництва).

Електронні тахеометри

Електронні тахеометри (рис. 3) здатні визначати координати точок з точністю до міліметра, тому їх успішно використовують для ВГР. Сучасні електронні тахеометри “роботизовані”, тобто оснащені п'єзодвигунами для точного наведення на ціль.



Рис. 3. Електронний тахеометр Leica TS16

Крім характеристик моделі Leica TS16, що вказані у табл. 1, варто відзначити високу швидкість процесу вимірювань, а також технологію автоматичного наведення на відбивач ATR, за допомогою якої прилад швидко і чітко наводиться на центр

відбивача без будь-яких допоміжних пристроїв. Також варто згадати про функцію швидкого пошуку відбивача *PowerSearch*, завдяки якій користувач може віддалено навести тахеометр на відбивач натисненням однієї кнопки. Тахеометри цієї серії використовують здебільшого з метою проведення точкового моніторингу та аналізу деформацій, що можуть передувати структурним розривам будівель та споруд, зокрема дамб, мостів, тунелів. За допомогою тахеометрів також контролюють зміни у товщі гірських порід, щоб передбачити небезпечні природні процеси (зсуви, сходження лавин).

Типова програма робіт ВГМ за допомогою тахеометра Leica виглядає так: відбивачеві призми закріплюють у точках, які дають відгук на найменший рух об'єкта (наприклад, стовпи або точки максимальної гнучкості основного прольоту мосту); тахеометр встановлюється у стабільній зоні та цілодобово контролює кожну точку спостереження, дані збирають і обробляють, автоматично формують діаграми, що представляють зміщення у функції часу. Оскільки виміри трикоординатні, також накопичується інформація про рухи точок. Програмне забезпечення має засоби, які активують сигнали тривоги, коли амплітуда рухів сягає критичних позначок.

На фотознімку (рис. 4) зображена діюча база моніторингова станція у с. Маулс (Австрія) [4]. Австрійська компанія “Trigonos ZT GmbH” встановила роботизований електронний тахеометр Leica TS15 і цілодобово контролює кожну точку спостереження [5]. У цьому випадку спостерігаються рухи гірської поверхні поблизу селища з населенням 2000 осіб. На фотознімку (рис. 5) подано приклад діючої базової моніторингової станції у метро



Рис. 4. Моніторинг гірської поверхні за допомогою електронного тахеометра

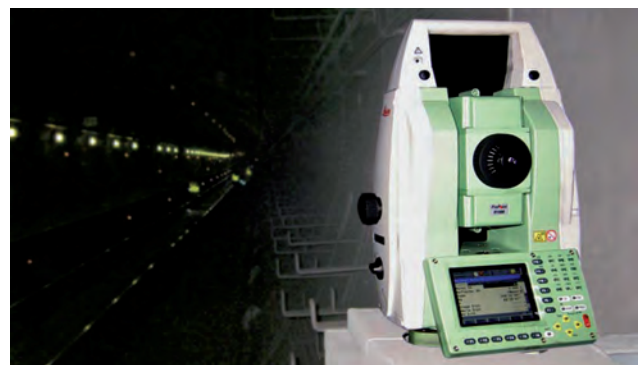


Рис. 5. Моніторинг тунелю за допомогою електронного тахеометра



Рис. 6. Мультистація
Leica MS60



Рис. 7. Польовий контролер
CS35



Рис. 8. Моніторинг градирні
за допомогою мультистації



Рис. 9. Градирня електростанції

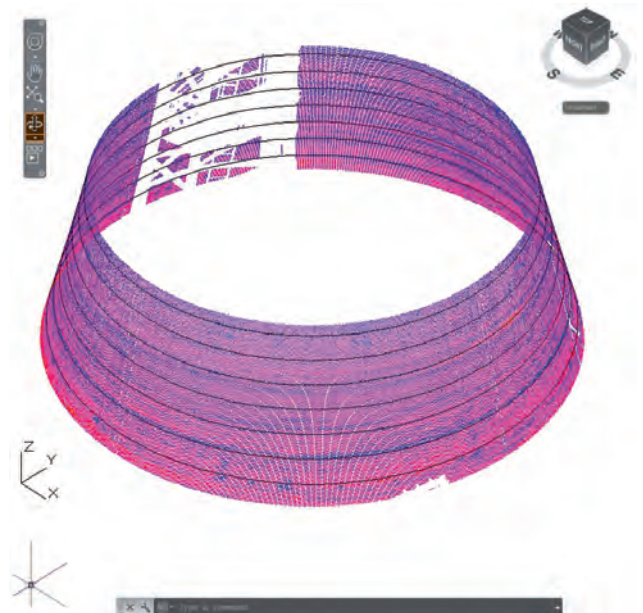


Рис. 10. Оброблення хмари 3D-точок



Рис. 11. Мультистація
компанії WestLAND



Рис. 12. Моніторинг тунелю
за допомогою мультистації

Гонконга. Компанія “MTR” встановила шість роботизованих тахеометрів Leica TM30 і цілодобово контролює координати 234 моніторингових призм, що закріплені у тунелях метрополітену [6].

Ці приклади підтверджують, що тахеометр – це надійний та порівняно недорогий прилад, здатний визначити зміщення точок з точністю до міліметра в діапазоні вимірювань до 1 км. Здебільшого тахеометри застосовують для моніторингу окремих ключових точок, жорстко закріплених на поверхні об’єкта, за яким спостерігають. Недоліком цього способу моніторингу є необхідність встановлення великої кількості відбивачевих призм у важкодоступних місцях об’єкта. Орієнтовна вартість якісної відбивачевої призми 1 тис. USD, відповідно, для знімання складних поверхонь великої площини витрати на додаткові аксесуари сягатимуть відчутних величин.

Мультистанції

Мультистанція (рис. 6) — це сучасний інженерний прилад, який об’єднує в собі функціонал роботизованого тахеометра, лазерного сканера та фотограмметричної станції. Крім того, прилад можна доповнити GNSS-приймачем. Мультистанція розрахована на жорсткі режими експлуатації в найсуворіших умовах навколишнього середовища. Модель Leica MS60 працює в широкому діапазоні температур, її корпус захищений від вітру, дощу, піску і пилу. Точність вимірювань залишається незмінною як під час роботи за яскравого сонця, так і в повній темряві.

Мультистанція Leica MS60 здатна виконувати вимірювання з частотою 1 тис. точок за секунду. Цього достатньо для формування хмар 3D-точок певних ділянок поверхні для аналізу. Використовуючи революційне програмне забезпечення, Leica Captivate перетворює складний набір просторових даних на прості та зручні для роботи 3D-моделі. Польовий контролер CS35 (рис. 7) дає геодезистові можливість переглядати результати вимірювань і проектні дані у жорстких польових умовах.

Мультистанція Leica MS60 може виконувати роль компонента безперервної автоматичної моніторингової системи, в яку інтегровані GNSS-приймачі, геотехнічні сенсори, інші тахеометри та інфраструктура IT-зв’язку під керуванням програмного забезпечення Leica GeoMoS. На фотознімку (рис. 8) наведено приклад діючої мультистанції, яку застосувала Харківська компанія “Навігаційно-геодезичний центр” для моніторингу градиентів електростанції під час її будівництва (рис. 9).

Інженери Навігаційно-геодезичного центру успішно виконали сканування градиентів із середини, після оброблення хмари 3D-точок замовник отримав результати (рис. 10).

Упродовж останніх трьох років популярність мультистанцій зростає. На фотознімку (рис. 11) наведено приклад діючої мультистанції, що належить приватній компанії WestLAND Group (Каліфорнія). Компанія успішно виконує геодезичні роботи для реконструкції залізничних тунелів, застосовуючи функцію лазерного сканування там, де потрібне створення хмар 3D-точок (рис. 11) [7].

Висновки

Ми живемо в динамічному світі. Будинки й дамби просідають, мости деформуються і вібрують, товщі гірських порід зміщуються, сходять зсуви, льодовики тануть. Наш світ постійно змінюється як внаслідок впливу людини (вібрації, розроблення корисних копалин і будівництво), так і через вплив природних процесів (зміни клімату та ерозія).

Проектні та будівельні компанії стикаються із загостренням проблем контролю змін, адже вони відповідають за стан споруд, які створюють і обслуговують. Щоб вирішувати ці завдання, інженери повинні вміти вимірювати зміщення точок та форм поверхонь з точністю до міліметра.

Очевидно, з фінансових причин українські геодезисти вважають таку інвестицію, як придбання лазерного сканера, недосяжною. Використання мультистанції Leica MS60 – саме той випадок, коли сканування потрібне, але коштів вистачає тільки на електронний тахеометр. Мультистанція сьогодні стає найпродуктивнішим геодезичним приладом, орієнтованим на виконання найскладніших та комплексних завдань.

Література

1. Маліцький А. Аналіз наземних лазерних 3D-сканерів та сфера їх застосування / Маліцький А., Лозинський В. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. I (27) – С. 21–26.
2. Пекарш А. И. Координатно-измерительные машины и комплексы / Пекарш А. И., Феоктистов С. И., Кольхалов Д. Г., Шпорт В. И. // Наука и технологии в промышленности. – 2011. – № 3. – С. 36–48.
3. Тревого І. Аналіз технологічних можливостей сучасних лазерних трекерів / Тревого І., Баландюк А., Григораш А. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – Вип. I (21). – С. 131–136.
4. Тревого І. Аналіз технологічних можливостей сучасних лазерних сканерів / Тревого І., Баландюк А., Григораш А. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – Вип. I (19). – С. 170–176.
5. Zeiner A. GNSS Monitoring for safety on the Brenner / The Global Magazine of Leica Geosystems. – Reporter 68. – 2013. – С. 26–29.
6. Leica Geosystems TruStory – “Monitoring System at Tsuen Wan West Station, MTR West Rail Line”. – www.leica-geosystems.co.uk/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=19034 – 2009.
7. Leica Geosystems TruStory – “The Leica MS50 MultiStation: the real deal pays out”. – leica-geosystems.com/-/media/files/trustories/monitoring-traunstein_2010_tru_en.ashx – 2013.

Застосування мультистанції Leica MS60 з метою проведення високоточного геопросторового моніторингу

І. Тревого, А. Горб, О. Мелешко

Розглянуто та проаналізовано сучасні безконтактні координатно-вимірювальні системи швейцарської ко-

панії Leica Geosystems, принцип дії яких оснований на використанні лазерно-оптичних методів: трекери, лазерні сканери, тахеометри та мультистанції. Обґрунтовано пріоритетність застосування мультистанції Leica MS60 з метою проведення високоточного геопросторового моніторингу в різних галузях виробництва великогабаритних та складних об'єктів і конструкцій, у яких необхідна висока точність вимірювання.

**Применение мультистанции Leica MS60
в целях проведения высокоточного
геопространственного мониторинга**

И. Тревого, А. Горб, А. Мелешко

Рассмотрены и проанализированы современные бесконтактные координатно-измерительные системы швейцарской компании Leica Geosystems, принцип действия которых основан на использовании лазерно-оптических методов: трекеры, лазерные сканеры, тахе-

ометры и мультистанции. Обоснована приоритетность применения мультистанции Leica MS60 в целях проведения высокоточного геопространственного мониторинга в различных отраслях производства крупногабаритных и сложных объектов и конструкций, где необходима высокая точность измерений.

**High-precision geospatial monitoring
using the Leica MS60 multistation**

I. Trevoho, A. Gorb, O. Meleshko

Considered and analyzed modern noncontact coordinate-measuring machines, whose operation principle is based on the laser-optical methods, produced by Swiss company *Leica Geosystems*, such as: trackers, 3D-laser scanners, total stations and multistations. Proved the priority of Leica MS60 multistations for high-precision geospatial monitoring in various fields of production of large and complex objects and structures, where high accuracy is required.

**Організація прибудинкових
територій житлових
багатоквартирних
будинків**

- геоінформаційні технології
- аналіз стану та тенденцій
- основи формування



О. А. Лагоднюк,
П. Г. Черняга.
Монографія.

Видавництво
Львівської політехніки, 2012. 176 с.
ISBN 978-617-607-265-2

**Один із перших
українських посібників
з оцінки нерухомості**

- загальні положення оцінки нерухомості
- ринок нерухомості
- методичні підходи до оцінки нерухомості
- нормативна грошова оцінка земель
- підходи в експертній оцінці землі
- оцінка майнових прав



Л. М. Перович, Ю. П. Губар
Навчальний посібник.

Видавництво
Львівської політехніки, 2010. 296 с.
ISBN 978-966-553-983-4