

УДК.528

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ЛАЗЕРНИХ ТРЕКЕРІВ

І. Тревого, А. Баландюк

Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: лазерні трекери, геодезичні та метрологічні прилади

Актуальність роботи

Аналізуючи розвиток сучасного виробництва практично у всіх галузях економіки, можна відзначити позитивну закономірність – підвищення якості та точності виготовлення продукції. Саме аспект контролю якості продукції розглянуто у цій статті.

У багатьох галузях промисловості, серед яких автомобільна та аерокосмічна, необхідно точно вимірювати тривимірні параметри великих і складних об'єктів. Розвивається спосіб вирішення цього завдання з використанням лазерного трекера – пристрою, вперше запропонованого в кінці 80-х років минулого століття.

Саме трекер сприяв виникненню і впровадженню мобільних вимірювальних систем в кінці ХХ століття, коли рівень технологій забезпечив виробництво доволі точних координатних машин з досить низькою собівартістю. Сьогодні за точністю найкращі мобільні вимірювальні системи наближаються до стаціонарних, маючи майже на порядок меншу вартість.

Принцип роботи лазерного трекера

Лазерний трекер (з англ. *to track* – слідкувати) – це високотехнологічний і високоточний вимірювальний пристрій, оснований на принципі стеження за спеціальним відбивачем за допомогою лазерного променя.

Принцип роботи лазерного трекера (рис. 1) полягає в тому, що за його допомогою вимірюють два кути і відстань. Трекер посилає лазерний промінь до спеціального сферичного відбивача діаметром 1.5 або 0,5 дюйма, який кріпиться до досліджуваного об'єкта. Поправка за діаметр відбивача автоматично враховується у всіх результатах. Промінь, відбитий від цілі, повертається по тому ж шляху і трекер приймає його в тій самій точці, звідки він був випущений. Всі кінцеві результати видаються із урахуванням всіх констант і не потребують допоміжних коректувань. Світловідбивачі відрізняються, але найпопулярнішим є рефлектор, умонтований у сферу.

Вимірювання кутів трекером

Лазерний трекер містить два кутові енкодери. Ці пристрої вимірюють кутову орієнтацію двох механічних осей трекера: осі азимута й осі висоти. Кутів, отриманих від енкодерів, і відстані від вимірювача відстаней достатньо для точного визначення положення центра ретрорефлектора. Оскільки центр рефлектора завжди розташований на фіксованій відстані від вимірюваної поверхні, координати вимірюваних точок або поверхонь легко обчислити.

Способи вимірювання віддалей трекером

Вимірювач віддалей може бути двох типів. Це інтерферометр або вимірювач абсолютних відстаней (*absolute distance meter, ADM*).

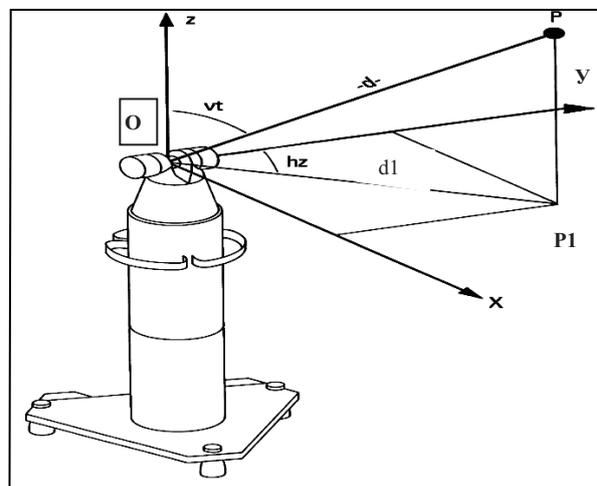


Рис. 1. Принципова схема вимірювання лазерним трекером:

XYZ – умовна система координат приладу;

O – початок координат; *P* – вимірювана точка;

P1 – точка, приведена на горизонтальну площину;

D – нахилена віддаль у напрямку на вимірюваний предмет;

d1 – приведена до горизонту віддаль;

vt – вертикальний кут;

hz – горизонтальний кут

Інкrementне вимірювання віддалей здійснюється за допомогою інтерферометра та стабілізованого за частотою гелій-неон лазера. Світло лазера розділяється на два промені. Один скеровується прямо в інтерферометр. Інший випускається трекером, відбивається від рефлектора і на зворотному шляху надходить в інтерферометр. Усередині інтерферометра два промені інтерферують, наслідком чого є циклічна зміна амплітуди електромагнітної хвилі щоразу, коли рефлектор наближається чи віддаляється від трекера на відстань, яка дорівнює чверті довжини хвилі (~ 0,0158 мкм). Електронна схема підраховує кількість циклічних змін ("рахунок смуг"), щоб обчислити віддалі, які проходить світловий сигнал. У міру того, як оператор переміщає рефлектор в необхідне положення, лазерний промінь рухається услід за ним, залишаючись прив'язаним до центру рефлектора. Цей метод працює доти, доки лазерний промінь від трекера до рефлектора не натрапить на перешкоду на своєму шляху. Якщо промінь обривається, то показання лічильника втрачають зв'язок з положенням ретрорефлектора і відстань до нього стає невідомою. Коли це трапляється, трекер видає сигнал про помилку! Оператор повинен повторити вимірювання.

Абсолютне вимірювання віддалей (ADM) є широковідомим. Але за останнє десятиріччя цей метод радикально покращився, і тепер його характеристики

точності наближаються до інтерферометрів. Перевага методу вимірювання абсолютних відстаней в тому, що він дає змогу просто скерувати промінь на ціль і “вистрілити”. Система ADM вимірює відстань до мети автоматично, навіть якщо промінь перед цим був розірваний. У трекері з ADM інфрачервоне світло від напівпровідникового лазера відбивається від рефлектора. Його приймає назад трекер, в якому він перетворюється на електричний сигнал. Електронна схема аналізує сигнал для визначення його часу руху туди й назад, перемножує одержане значення на швидкість світла в повітрі і отримує відстань від трекера до рефлектора.

Абсолютне вимірювання відстаней вперше з’явилося в трекерах у середині 90-х. В цей час системи ADM вимірювали дуже повільно для того, щоб забезпечувати сканування поверхонь. Через це всі перші моделі трекерів містили або один інтерферометр, або інтерферометр і вимірник абсолютних віддалей. Сьогодні деякі вимірники абсолютних віддалей володіють достатньою швидкістю, щоб забезпечити високошвидкісне сканування без втрати точності.

Тому деякі сучасні трекеери містять лише ADM і не використовують інтерферометр для вимірів. Інша функція трекера – управління променем, що випускається. Один тип трекерів випускає промінь безпосередньо зі своєї конструкції, що обертається. Інший тип відбиває лазерний промінь від дзеркала, що обертається. У будь-якому випадку трекер скеровує промінь в потрібному напрямі за допомогою повороту механічних осей. У багатьох випадках трекер утримує промінь в центрі швидкісного рефлектора, що пересувається. Він виконує це, скеровуючи частину відбитого рефлектором променя в детектор позиції. Якщо промінь лазера потрапляє не в центр рефлектора, то відбитий промінь теж не потрапляє в центр детектора позиції, і формується сигнал помилки. Цей сигнал контролює обертання механічних осей, щоб утримати промінь лазера у центрі рефлектора.

Моделі лазерних трекерів

На сучасному етапі продукування лазерних трекерів та робіт, пов’язаних з ними, активно розвивається. Користувачами цих приладів вже є багато геодезичних і метрологічних організацій. Виробляють лазерні

трекеери сьогодні фірми: Leica Geosystems, FARO Technologies, та API (рис. 2).

Оскільки лазерні трекеери застосовуються при високоточних вимірюваннях, то і вимоги до точності їх вимірювань дуже високі. Розглянемо можливості лазерних трекерів на конкретних моделях (див. таблицю).

Leica Absolute Tracker AT401 – це портативна координатно-вимірвальна система, що базується на лазерному промені, призначена для точних вимірювань і контролю в сферичному об’ємі до 320 м. Інструмент відмінно пристосований для роботи в найскладніших умовах навколишнього середовища (температура, запилення, загазованість тощо), забезпечує високу точність стеження навіть за об’єктами, що дуже швидко рухаються і не потребує особливого спеціального догляду в ході експлуатації. Абсолютний лазерний трекер Leica AT401 спроектований за принципом “все в одному”. У системі є такі потрібні функції, як відео в реальному часі, електронний рівень, метеостанція і навіть вбудоване дистанційне керування. Використовуючи вбудований WLAN, можна забезпечити повністю безпроводне під’єднання приладу, що робить його абсолютно мобільним. У цьому трекері застосовується технологія **PowerLock**, яку фірма Leica Geosystems презентувала в 2009 р. Ця технологія візування дає змогу визначити відбивач і автоматично знаходити його, навіть коли ціль рухається. Це набагато спростило роботу з приладом, оскільки не потрібно, щоб відбивач постійно був у зоні видимості.

Прилад забезпечений двома ідентичними акумуляторами, один з яких встановлюється усередині трекера, а другий – у контролері. Така комплектація забезпечує тривалість роботи лазерного трекера протягом робочого дня. Якщо акумулятори розрядились до критичного рівня, їх можна замінити безпосередньо під час роботи. Заміна акумуляторів не впливає на роботу лазерного трекера. В трекері Leica AT401 передбачена опція “живлення через Ethernet”. Ця технологія дає змогу використовувати під’єднання по локальній мережі для передавання даних і підімкнення живлення.

Для полегшення та спрощення роботи з трекерами фірми Leica Geosystems застосовується додаткове обладнання, а саме:

Таблиця 1

Основні технічні характеристики лазерних трекерів

Модель приладу	Leica Absolute Tracker AT401	FARO ION	API Tracker3
Діапазон сканування	по горизонталі: +/-360° по вертикалі: +/-145° робоча зона: до 320 м.	по горизонталі: +/-270° по вертикалі: +75° до -50° робоча зона: до 110 м.	по горизонталі: +/-320° по вертикалі: +80° до -60° робоча зона: до 120 м.
Точність кутових вимірювань	15 мкм + 6 мкм/м	10 мкм + 2,5 мкм/м	15 мкм + 3,5 мкм/м
Точність вимірювання віддалі	~ 10 мкм	8 мкм + 0,4 мкм/м	15 мкм + 1,5 мкм/м
Умови роботи	Висота над рівнем моря: від -700 до 5500 м. Відносна вологість: 95 % (без конденсату) Робоча температура: 0°C до +40°C	Висота над рівнем моря: від -700 до 2450 м. Відносна вологість: 95 % (без конденсату) Робоча температура: -15°C до +50°C	Висота над рівнем моря: до 2000 м. Відносна вологість: 92,5 % (без конденсату) Робоча температура: -10°C до +40°C



Рис. 2. Моделі лазерних трекерів

– **Leica T-probe** – безпроводний пристрій для сканування прихованих, складних для доступу точок за один раз, з мінімальним часом налаштування. Цей пристрій оснащений подовженим стилусом і дає змогу виконувати виміри на відстані до 30 м від трекера в будь-якому напрямку;

– **Leica T-Scan** — це додаткове пристосування для роботи з трекерами Leica, високошвидкісний безконтактний ручний сканер, призначений для обмірів великих об'ємів. Він вирізняється високою якістю роботи на складних поверхнях і має високу швидкість захоплення точок. Цей пристрій адаптує інтенсивність лазерного випромінювання до блискучих металевих або темних поверхонь. Не потрібно наносити матове покриття, сучасна технологія унеможливує вплив зовнішнього світла, що змінюється. Це дає змогу звести до мінімуму час на підготовку та збільшити точність вимірювань;

– **Leica T-Mac** (давач механізованого управління трекером) – прилад для автоматичного використання в системах лазерних трекерів у режимі 6dof.

FARO Laser Tracker ION – портативна контактна вимірювальна система, що використовує лазерну технологію для точних вимірювань великих деталей та машин за допомогою широкого асортименту промислових додатків. Робоча зона приладу досягає 110 м з 3D точністю 0,025 мм. Цей прилад спеціально розроблений для високоточного вимірювання лінійних і кутових розмірів у авіакосмічній промисловості, суднобудуванні, автомобільній промисловості, важко-машинобудуванні.

У конструкції цього трекера використовуються запатентовані технології:

– **Smart Warm-Up** – технологія, що скорочує удвічі час налаштування трекера до умов навколишнього середовища порівняно з попередніми моделями FARO Laser Tracker. Функція запускається автоматично після підімкнення трекера до електромережі;

– **Integrated Weather Station** – вбудована метеостанція, що забезпечує автоматичну компенсацію впливу перепадів температури середовища, тиску повітря і вологості на точність вимірювання;

– **AgileADM (Agile Absolute Distance Meter)** – нова система, що дає змогу швидко знаходити втрачений відбивачем лазерний промінь без необхідності

переривати роботу, що істотно полегшує і прискорює процес вимірювання.

Ще однією цікавою функцією лазерного трекера **FARO ION** є можливість працювати з вимірювальною системою **FaroArm** як одним приладом, що часто потрібно під час вимірювання великих об'єктів складної форми. Руку у такому разі можна багаторазово переставляти для забезпечення доступу до елементів, що перебувають поза полем зору лазера, а трекер використовується для контролю положення руки і приведення вимірних даних до однієї системи координат. За такою технологією, наприклад, контролюють складання літаків на найбільших авіабудівних концертах Boeing і Airbus Industry.

API Tracker3

Основною “родзинкою” цього трекера є кріплення лазерної голівки прямо на валу. Конструкція фірми API передбачає розміщення блока лазерного інтерферометра, давача положення і ADM-оптики в одному пристрої. Як наслідок, лазерний промінь виходить з голівки трекера, не заломлюючись через дзеркало. В результаті такого новаторського підходу до конструкції знизилася до мінімуму похибка вимірювань, викликані тепловими чинниками, забезпечивши тим самим надійну стабільність і точність показників приладу.

Підготувати до роботи його можна доволі швидко: достатньо лише під'єднати два кабелі. Також його можна приєднати через локальну мережу Ethernet або за допомогою безпроводної мережі до комп'ютера, тоді як інші прилади потребують тривалої процедури калібрування безпосередньо перед вимірюванням з подальшим зворотним візуванням (як вимагає стандарт B89), Tracker3 може виконати і те, і інше за один сеанс.

Як і інші лазерні трекери, API Tracker3 має додаткові пристосування, що полегшують роботу користувачу, а саме:

– **Активна марка API Active Target** – головною особливістю є те, що цей “відбивач” являє собою роботизований пристрій, що автоматично розвертає марку під необхідним кутом до пристрою, тим самим виключаючи імовірність “мертвих кутів”, за яких відбувається втрата сигналу і беруться неправильні показники;

– **Пристрій IntelliProbe 360** – безпроводний пристрій для вимірювання складних для доступу точок на відстані 25 метрів. У комплект також входять додаткові щупальці-зонди, що дають змогу вимірювати недоступні точки;

– **Пристрій IntelliScan 360** – високошвидкісний безконтактний ручний сканер, за допомогою якого можна вимірювати поверхні об'єктів у радіусі до 25 метрів зі швидкістю 9000 т/с.

Галузі застосування лазерних трекерів

Сьогодні практично всі лазерні трекери мають герметичну будову, що відповідає сертифікату класу захисту IP54 (IEC 60529) і дає змогу використовувати їх у найскладніших умовах. Також сучасні моделі сертифіковані для використання на відкритому повітрі, навіть у дощову погоду.

Назвемо деякі із галузей промисловості, у яких застосовують лазерні тремери:

– **авіакосмічна промисловість**, де за допомогою лазерних тремерів можна значно полегшити виконання трудомістких робіт, таких як виготовлення і перевірка приладів, перевірка геометричних розмірів, центрування елементів, складання вузлів з вивірянням або ж виготовлення антен;

– **автомобільна промисловість**, де без наявності метрологічного обладнання неможливо гарантувати найвищу точність та якість. Для перевірки сходження результатів вимірювань приладів, обстеження автомобілів, монтажу та технічного обслуговування виробничих ліній, де застосування лазерного тремера є незамінним;

– **кораблебудування**, в якому завдяки широкому діапазону вимірювань можна працювати з великими об'єктами. Тремер є незамінним для обстеження та центрування силових агрегатів і валів та монтажу обладнання;

– **енергетика**, де турбіни і генератори, що використовують енергію вітру або води, треба розраховувати на граничні умови експлуатації. Потрібна надвисока точність для перевірки жорстких допусків. Використання лазерних тремерів значно спрощує центрування валів та агрегатів, обстеження обладнання або вимірювання лопаток.

Також лазерні тремери застосовують для різних контрольних робіт та моніторингу: перевірки міцності кріплення, калібрування верстатів, контролю виготовлення деталей, калібрування координатно-вимірювальних систем, оцифрування поверхонь, контролю зміни деформації інженерних споруд, встановлення антен та інших прецизійних об'єктів.

Висновки

1. Сьогодні лазерний тремер – це нове покоління метрологічних приладів, що забезпечує результати роботи надвисокої точності.

2. Сучасне високоточне метрологічне промислове обладнання неможливе без лазерних тремерів, оскільки вони добре зарекомендували себе у найрізноманітніших галузях виробництва: космічному та літакобудуванні, машинобудуванні, енергетиці, суднобудуванні та інших галузях, де необхідний моніторинг великих об'єктів та з високою точністю.

3. Лазерний тремер може працювати з пристроями типу "ARM", оскільки такі механізми мають обмежений радіус дії та не можуть працювати у недоступних місцях, а лазерні тремери усувають ці недоліки за рахунок більшого радіуса дії, та можуть працювати у важкодоступних місцях.

Література

1. Лазерные тремеры – <http://www.metrologi.ru/news/100.htm>.
2. Нева Технолоджи – <http://www.nevatec.ru/tracker3/index.htm>.
3. Бум Техно – <http://new.bumtechno.ru/metrology/products/instruments/tracker>

Аналіз технологічних можливостей сучасних лазерних тремерів

І. Тревого, А. Баландюк

Розглянуто та проаналізовано призначення і принцип дії, застосування, технічні характеристики та особливості лазерних тремерів, які широко використовують у різних галузях виробництва великогабаритних та складних об'єктів і конструкцій, де необхідна особливо висока точність вимірювання.

Анализ технологических возможностей современных лазерных тремеров

И. Тревого, А. Баландюк

Рассмотрены и проанализированы назначение и принцип действия, применение, технические характеристики и особенности лазерных тремеров, которые широко используют в различных отраслях производства крупногабаритных и сложных объектов и конструкций, где необходима особо высокая точность измерений.

Analysis of the technological capabilities of modern laser trackers

I. Trevoho, A. Balandyuk

Considered and analyzed the purpose and principle of operation, application, specification and features of laser trackers, which use is widespread in various fields of production of large and complex objects and structures, where the measurement requires particularly high accuracy.



INTERGEO

Kongress und Fachmesse für Geodäsie,
Geoinformation und Landmanagement
Nürnberg, 27.–29. September 2011

INTERGEO – 2011

27–29 вересня
м. Нюрнберг, Німеччина

INTERGEO є найбільшою подією і комунікаційною платформою у світі для геодезії, геоінформатики та землевпорядкування. Виставки та конференції охоплюють усі важливі тенденції, що розвиваються: від збирання геоінформації до її широкого використання. NürnbergMesse є однією з 20 найбільших виставкових компаній світу і десяти найбільших у Європі.