

УДК 528.48

Б.Є. Монюк,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ТРЕКЕРА ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ЗАДАЧ

*Визначено в першому наближенні сферу застосування лазерних трекерів для вирішення інженерно-геодезичних задач та сформульовані основні напрямки досліджень для створення методик їх вирішення.*

*Ключові слова: лазерний трекер, інженерно-геодезичні задачі.*

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку геодезичної техніки характеризується появою нових високопродуктивних, високоточних геодезичних приладів – лазерних трекерів. Ці прилади застосовуються в основному в сучасному будівництві, машинобудуванні, приладобудуванні, літакобудуванні, суднобудуванні для:

- забезпечення постійного контролю геометричних параметрів виробів, що випускається;
- перевірки готового виробу на відповідність його САД моделі;
- контролю технологічних процесів;
- вирішення задач зворотнього інженерінгу – створення САД моделі виробу.

В Україні лазерні трекери з'явилися досить недавно. Метрологічні та технічні характеристики лазерних трекерів дозволяють вирішувати з високою точністю і малими затратами часу й інженерно-геодезичні задачі. На сьогоднішній час відсутня чітка класифікація цих задач та методики їх вирішення, тому ця тема є дуже актуальною.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми.** За кордоном лазерні трекери використовуються на унікальних об'єктах для вирішення складних інженерних задач :

- високоточні вимірювання великих оптичних поверхонь, таких як дзеркала діаметром 8,4 м, яке є одним із семи первинних сегментів наземного Велетенського телескопа Магеллана (анг. Giant Magellan Telescope) [1;2];
- високоточні вимірювання фундаментальної геодезичної мережі Онсальської космічної обсерваторії (анг. Onsala Space Observatory), яка знаходиться в Швеції [3].

Це лише декілька із багатьох складних задач, які вирішуються у світі за допомогою лазерних трекерів. В Україні кількість цих приладів є дуже обмеженою, тому і кількість публікацій щодо застосування є незначною [4;5].

Метод і алгоритм сумісного використання лазерного трекера з координатно-вимірювальною машиною типу "рука", для визначення геометричних параметрів фюзеляжа літака, описано в роботі [6]. В Росії лазерний трекер ефективно застосовували для контролю положення статорних клинів великих гідрогенераторів, вивірки обертових печей, вивірки конструкцій космічних стартових комплексів, юстирування радіоастрономічних систем [7].

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є визначення, в першому наближенні сфери, застосування лазерних трекерів для вирішення інженерно-геодезичних задач та формулювання основних напрямків досліджень для створення методик їх вирішення.

**Основний зміст роботи.** Лазерний трекер (to track (англ.) – стежити) – високотехнологічний мобільний координатно-вимірювальний прилад, робота якого основана на стеженні за спеціальним сферичним відбивачем, за допомогою лазерного променя.

Спочатку сферичний відбивач поміщається в спеціальну точку (гніздо) на корпусі лазерного трекера, координати якої відомі в системі координат лазерного трекера, а звідти відбивач переміщується оператором в контрольовані точки. Лазерний трекер містить два кутові енкодери, які є аналогами горизонтального і вертикального круга тахеометра. Кути, виміряні за допомогою енкодерів, і віддалі виміряні від трекера, його вимірювачем віддалей, використовуються для визначення координат (X, Y, Z) центра сферичного відбивача (рис. 1).

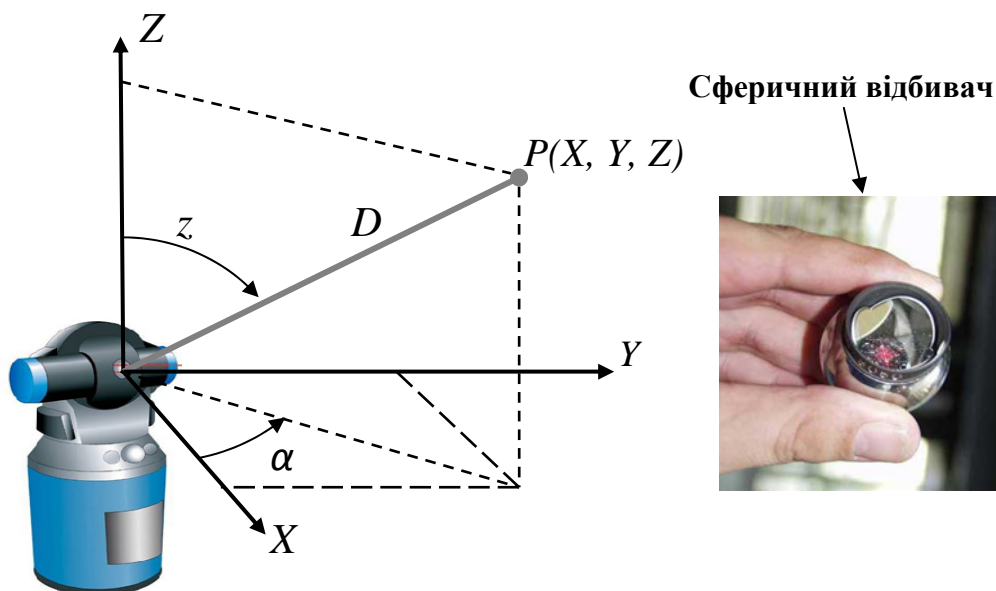


Рис. 1. Принцип роботи лазерного трекера

Сферичні відбивачі бувають таких розмірів : 1,5 дюйма, 0,875 дюйм, і 0,5 дюйма. Широкий вибір відбивачів дозволяє проводити вимірювання на контрольні точки розташовані у важко доступних місцях. Координати можна

одержувати як в статичному так і в динамічному режимі, тобто під час руху відбивача. В процесі вимірювань ведеться постійне стеження за станом атмосфери вбудованими датчиками. За виміряними температурою, тиском та вологістю до результатів вимірювань віддалі вносяться поправки.

Лазерний трекер має два положення при вимірюваннях: фронтальне положення (*frontsight*) та тильне положення (*backsight*). Зміна положень здійснюється за командою оператора автоматично обертанням на 180° кругом вертикальної та горизонтальної вісі аналогічно зміні круга зліва на круг справа теодоліта або тахеометра.

Вимірювач віддалей може бути двох типів. Це інтерферометр (англ. distance meter interferometer (DMI)) або вимірювач абсолютних віддалей (англ. absolute distance meter (ADM)). В різних моделях присутні обидва типи вимірювача – DMI і ADM або один із них. Різниця між цими типами полягає в тому, що при перериванні або втраті променя в режимі ADM не треба повертати сферичний відбивач в «гніздо», а можна продовжити вимірювання, «упіймавши» промінь там, де він був втрачений. Проте слід зазначити, що режим ADM є менш точним ніж режим DMI. СКП вимірювання віддалі в режимі DMI складає  $2 + 0,4 \cdot L(\text{м})$  мкм, а в режимі ADM —  $10 + 0,4 \cdot L(\text{м})$  мкм для моделі Faro Laser Tracker Xi [8]. Також слід додати, що цей лазерний трекер має обмежений діапазон вимірювань віддалі — від 0 до 35 м. СКП вимірювання кутів складає  $18 + 3 \cdot L(\text{м})$  мкм, яка виражена в лінійній мірі і являє собою похибку у напрямку перпендикулярному до напрямку візування. Так її легше порівнювати з похибкою вимірювання віддалі. З формули за якою нормована СКП вимірювань кута видно, що, якщо СКП перевести у кутову міру, то вона зменшується зі збільшенням віддалі до відбивача. З певної відстані СКП кутових вимірювань складає 2".

Лазерні трекери виділяються з багатьох інших координатно-вимірювальних приладів. Оскільки оператор може виконувати швидкі високоточні вимірювання з мінімум попередніх приготувань, трекери належать до найгнучкіших координатно-вимірювальних систем широкого профілю. Програмне забезпечення трекера аналізує дані і представляє результати в зручній формі. Трекери набирають популярність, особливо у великомасштабному виробництві, де вони знаходять застосування на кожній стадії технологічного процесу.

З вище наведених метрологічних та технічних характеристик розглянемо застосування лазерного трекера для вирішення інженерно-геодезичних задач (рис. 2).

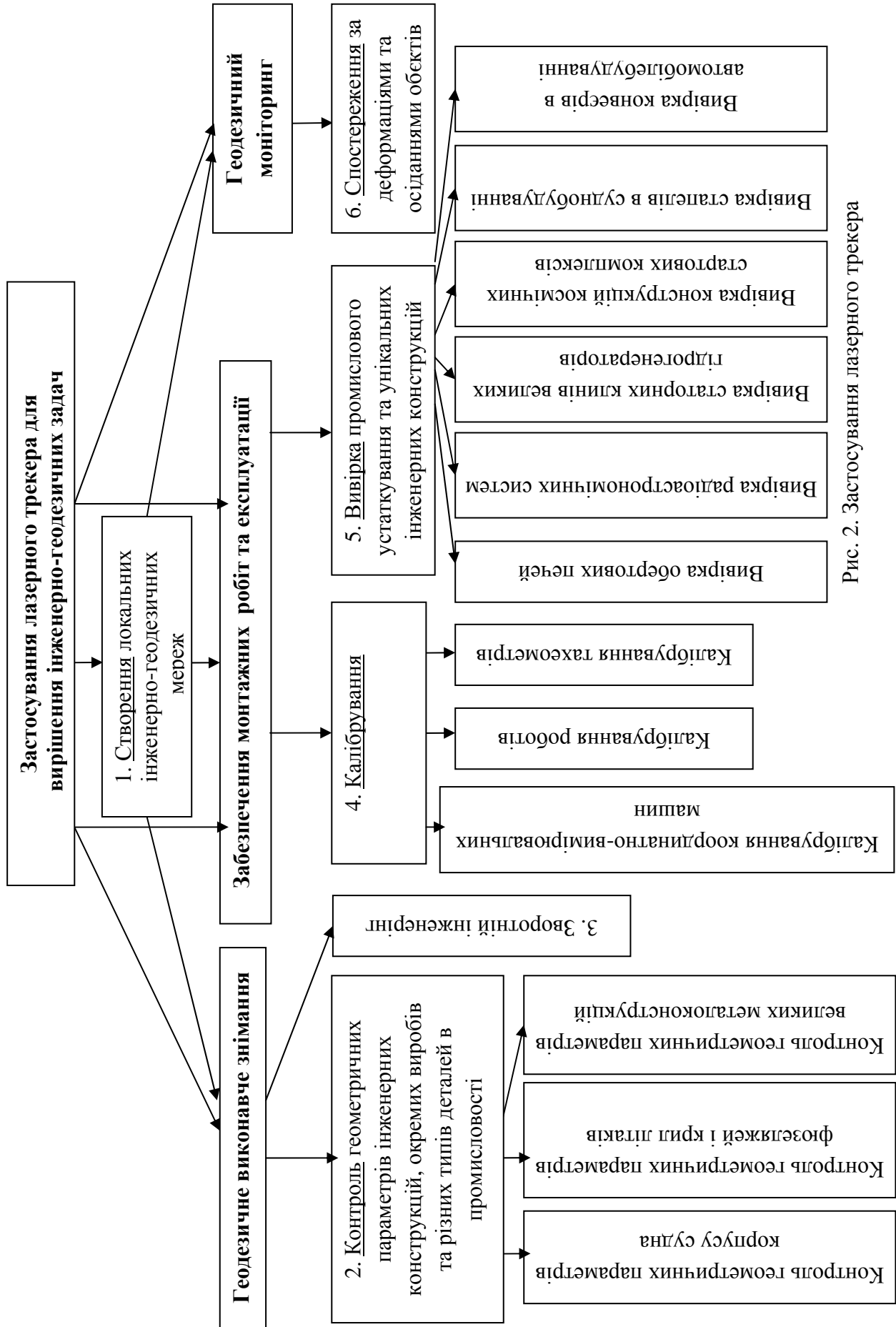


Рис. 2. Застосування лазерного трекера

Трекер дозволяє контролювати геометричні параметри великогабаритних виробів та деталей таких як: фюзеляжі і крила літаків, корпуси суден і вагонів, кузова автомобілів, станини верстатів і пресів, великі металоконструкції і т.д. Прилад може ефективно використовуватися для контролю складних криволінійних поверхонь, наприклад, робочих коліс гідротурбін, великогабаритних антен, методом порівняння з САД моделлю. Трекери застосовуються для створення як прототипів виробів, так і виконавчого знімання тих, що випускаються серійно.

Винятковою особливістю лазерних трекерів є те, що вони здатні відстежувати положення сферичного відбивача в режимі реального часу (у динаміці). Це дозволяє ефективно їх використовувати для збирання виробів з декількох компонентів, наприклад, з'єднання окремих секцій судна, з'єднання крила літака з фюзеляжем. Завдяки використанню лазерного трекера можна скоротити час на проведення подібних операцій в разі і відмовитися від виготовлення спеціальних дорогих вимірювальних контрольних шаблонів. Масштаби застосування лазерних трекерів іноді вражають. Тільки на одному із заводів «Боїнгу» встановлено 128 трекерів.

Дуже часто трекери застосовують не тільки для перевірки або контролю готових виробів, але і для збиральних робіт: вивірки статорних клинів великих гідрогенераторів, вивірки обертових печей, вивірки конструкцій космічних стартових комплексів, вивірки радіоастрономічних систем, вивірки стапелів в суднобудуванні і конвеєрів в автомобільній промисловості. Довжина автомобільного конвеєра складає близько півкілометра, а точність його вивірки становить 0,5 мм. Для забезпечення такої точності по усій довжині конвеєра виконується вимірювання на близько 1,5 тис. реперних точок. Усі вимірювання на реперні точки, що виконуються трекерами, приводяться до єдиної системи координат при вирівнюванні. Лазерні трекери ефективно використовуються також для високоточного калібрування – координатно-вимірювальних машин та роботів.

Також трекери застосовуються для вирішення задач зворотнього інженерінгу, отримання високоточної цифрової інформації про об'єкт у вигляді САД моделі, швидким високоточним скануванням. У загальному випадку це складніше, ніж використовувати координатно-вимірювальну машину типу "рука", але для великогабаритних виробів таке застосування трекера цілком виправдане.

Оскільки вимірювання лазерним трекером є зовсім новою технологією, головними напрямками подальших досліджень є:

1. Дослідження метрологічних характеристик лазерного трекера і на основі цих досліджень розробка методики повірки трекера;

2. Створення комплексів, які поєднують лазерний трекер з тахеометром або лазерним сканером, дослідження таких систем;
  3. Нормування точності вимірювань, на підставі метрологічних досліджень лазерного трекера, для різних типів об'єктів і видів геодезичних робіт;
  4. Розробка методик виконання вимірювань і оброблення їх результатів при вирішенні різних інженерно-геодезичних задач.
- Застосування результатів перерахованих досліджень дозволить ефективно застосовувати лазерний трекер для вирішення інженерно-геодезичних задач.

### Висновки

1. Лазерні трекери є новим, високоточним та ефективним геодезичним приладом для вирішення перерахованих вище інженерно-геодезичних задач.
2. На даному етапі розвитку промисловості в Україні застосування лазерних трекерів є новим і актуальним.
3. Українськими вченими вирішення інженерно-геодезичних задач з застосуванням лазерних трекерів майже або взагалі не вирішувалися та не розглядалися.
4. Сучасні лазерні трекери дозволяють визначати просторові координати точок на поверхні об'єкту з високою швидкістю і точністю вимірювань віддалей, що в десятки разів перевищує сучасні тахеометри.
5. Аналіз просторових координат точок на об'єкті, дозволяє зробити висновки про взаємне розташування його частин, їх орієнтування у просторі, геометричні параметри виробів та деформації конструкцій, контролювати величину юстировочного переміщення частин об'єкту в реальному часі, тощо.

### Література

1. *T. Zobrist, J. H. Burge, W. B. Davison, and H. M. Martin*, "Measurements of large optical surfaces with a laser tracker", in *Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation*, ed. E. Atad-Ettedgui and D. Lemke, Proc. SPIE 7018 (2008).
2. *T. Zobrist, J. H. Burge, and H. M. Martin*, "Laser tracker surface measurements 8.4 m GMT primary mirror segment", in *Optical Manufacturing and Testing VIII*, ed. J. H. Burge, O. W. Föhnle, and R. Williamson, Proc. SPIE 7426 (2009).
3. *M. Löslér, R. Haas*. "The 2008 Local-tie Survey at the Onsala Space Observatory". *Proceedings of the 19th European VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting, Bordeaux, 24-25 March 2009*.
4. *І. Тревого, А. Баландюк*. Аналіз технологічних можливостей сучасних лазерних трекерів\ Сучасні досягнення геодезичної науки та

виробництва: Збірник наукових праць. - Львів. 2011. – Вип.1 (21). – С. 131 – 134.

5. Шульц Р. В. Теорія і практика використання наземного лазерного сканування в задачах інженерної геодезії // Автореферат дисертації, д.т.н., – Київ, – 2012. – 32 с.

6. Л.М. Щербак, О.О. Лещенко, П.С. Закутній. Цифрові інформаційні технології вимірювань складних геометричних конструкцій // Восточно-Европейский журнал передовых технологий //научный журнал. - Харьков: Технологический центр, 2009. - №6/7 (42). – С.30-34.

7. Промышленная геодезия. Веб-сайт: <http://promgeo.com/services/paper>

8. FARO Technologies Inc. Веб-сайт: [www.faro.com](http://www.faro.com).

### **Аннотация**

Определенно в первом приближении область применения лазерных трекеров для решения инженерно-геодезических задач и сформулированные основные направления исследований для создания методик их решения.

### **Annotation**

Determined in the first approaching the scope application of laser trackers for solving engineer-geodesic tasks and formulated the main directions of research to create methods to solve them.