

УДК 624.131.2;528.74:72

Р.В. Шульц, к.т.н., КНУБіА

МОЖЛИВОСТІ МЕТОДУ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ДЕФОРМАЦІЙ ПРОСТОРОВИХ ОБОЛОНОК*

АНОТАЦІЯ

Розглянуто технологію визначення деформацій просторових оболонок методом наземного лазерного сканування.

Ключові слова: просторові оболонки, лазерне сканування, фототахеометри.

Просторові оболонки знаходять широке застосування в будівництві. Їх економічна ефективність доведена багаторічною практикою. Унікальність геометричної форми оболонок вимагає індивідуального підходу до кожної оболонки при визначенні її деформацій. Досвід моніторингу просторових оболонок вказує на необхідність впровадження сучасних геодезичних технологій для вирішення задач моніторингу. У нормативних документах відсутні чіткі вказівки щодо методів дослідження оболонок і геодезисти кожного разу змушені визначати необхідну методику дослідження та точність геодезичних робіт. Відсутність чітких вказівок щодо дослідження деформацій просторових оболонок приводить до прийняття необгрунтованого рішення з виконання ремонтних робіт, а іноді невизначеності деформацій, які вже розпочались.

Слід сказати, що питанню дослідження оболонок присвячено ряд робіт серед яких відзначимо роботи Т.Т. Чмчяна, С.П. Войтенка, Б.Д. Бачишина, А. Хайдарова та ін. Детальний аналіз існуючих методик дослідження деформацій оболонок дає змогу зробити висновок, що необхідне подальше дослідження існуючих способів деформацій оболонок.

Метою роботи є аналіз існуючих методів визначення деформацій просторових оболонок та дослідження методу наземного лазерного сканування для визначення деформацій.

Основним методом спостереження за деформаціями просторових оболонок до появи електронних тахеометрів був класичний геодезичний метод, у якому від пунктів внутрішньої мережі планове положення оболонки визначалось методом

бокового нівелювання, а висотне положення — методом геометричного нівелювання з використанням підвісної стрічки. З появою електронних тахеометрів, які працюють у режимі без відбивача, спостереження виконують методом вільної станції. У комплекті з відповідним програмним забезпеченням (MONMOS SOKKIA, Візир 3D) електронний тахеометр дозволяє в режимі реального часу отримувати величини деформацій.

При значних об'ємах робіт найбільш раціональними є фотограмметричний метод та метод лазерного сканування. Справа лише у вартості виконання робіт. Звичайно, на даний момент метод лазерного сканування має більшу вартість у порівнянні з фотограмметричним методом, проте в стиснених умовах реалізація фотограмметричного методу за вартістю фактично відповідає вартості методу лазерного сканування.

У залежності від вимог, точності та наявного обладнання спостереження за деформаціями можна виконувати за одиночним знімком, за стереопарою або за блоком знімків. Метод одиночних знімків можна застосовувати, якщо оболонка не має значних перепадів за глибиною, а вимірювання до її поверхні для визначення масштабу фотографування виконуються достатньо просто.

За необхідності зйомки просторових оболонок, що мають значні перепади за глибиною, використовують стереопару або блок знімків. Отримати стереопару дозволяють фототахеометри, наприклад, фірми "Торсон". Тахеометри цієї компанії мають вбудовану цифрову камеру. Тахеометри серії IS (Imaging Station) починалися з "Торсон GPT-7000i", першого у світі "гібридного" геодезичного інструмента, що поєднує в собі функції електронного тахеометра, який підтримує безвідбивні виміри, і можливості одержання фотознімків високої роздільної здатності за допомогою інтегрованої цифрової камери, що дозволяє створювати на основі результатів спостережень і отриманих знімків тривимірні моделі.

Просторову модель об'єкта можна отримати і без стереоспостережень, використовуючи блок знімків із довільними елементами зовнішнього орієнтування. При цьому головною умовою є те, що кожна спостережувана точка повинна бути замаркована і відображатися мінімум на трьох знімках.

Камеральну обробку цифрових знімків виконують на цифрових фотограмметричних станціях (Delta — Україна, ERDAS Imagine — США, PCI

* Кольорові рисунки 3-7 до статті див. на стор. 47-48

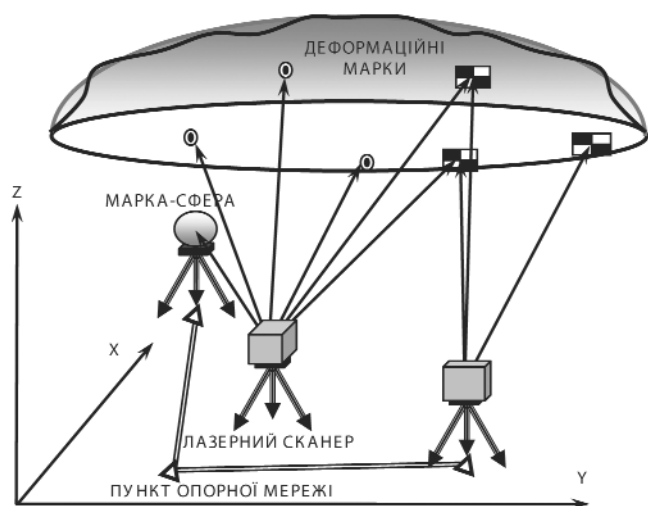


Рисунок 1. Визначення деформації наземним лазерним сканером

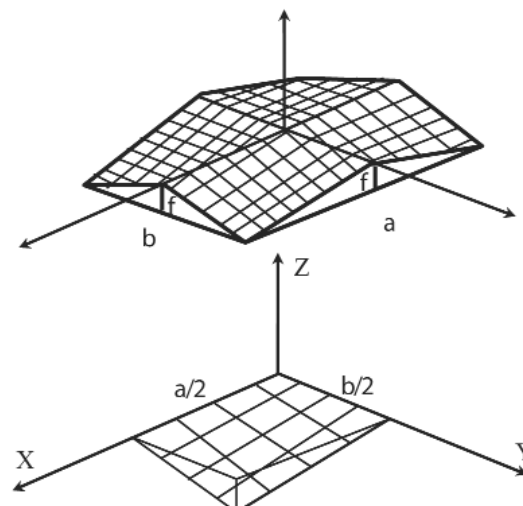


Рисунок 2. Гіперболічний параболоїд

Geomatics – Канада, PHOTOMOD – Росія) або інших фотограмметричних програмах, що призначені для вирішення інженерних задач (Photo Modeler, VSTARS – США, IWitness – Австралія, ELCOVISION – Німеччина).

При використанні фототахеометрів "Topcon IS" є можливість застосування програмного забезпечення, розробленого безпосередньо компанією-виробником фототахеометрів PI-3000, що достатньо зручно.

Системи лазерного сканування, які дозволяють одночасно отримати тривимірну модель об'єкта без значних затрат часу і з високою точністю, прийшли на зміну традиційним методам геодезичних засічок та нівелювання або розповсюдженням, але досить складним з точки зору обробки методами фототеодолітної зйомки.

Геометрія оболонки характеризується геометрією її серединної поверхні. Головна з геометричних ознак, за якою класифікуються оболонки, є вид поверхні оболонки, тобто її серединна поверхня. Для дослідження оберемо оболонки, окреслені лінійчастими поверхнями гіперболічного параболоїда (гіпари).

Оболонки даної конструкції отримали широке застосування завдяки виразному архітектурному вигляду споруди та спрощеній технології монтажу. Рівняння цієї оболонки має вигляд:

$$Z=4fxy/ab.$$

Оболонка такого типу повністю характеризується розмірами опорного контура a і b та величиною стріли прогину f . На рис. 2 наведено загальний вигляд гіпара та один листок гіпара, який найчастіше використовується як елемент покриття.

Проаналізуємо результати вимірювання деформацій просторового гіпара з наступними геометричними характеристиками a і $b = 40$ м, $f = 2$ м.

Рівняння ідеальної оболонки має наступний вигляд:

$$z=0,005xy.$$

Для даної оболонки було виконано вимірювання з використанням електронного тахеометра та

Таблиця 1. Методи спостереження за деформаціями просторових оболонок

Методи	Інструменти	Точність	Продуктивність	Умови застосування
Геодезичний	Електронні тахеометри	0,5-5мм	Середня	При незначних об'ємах робіт
Фотограмметричний	Фототеодоліти, фототахеометри	2-5мм	Висока	При значних об'ємах робіт
Лазерне сканування	Лазерний сканер	2-5мм	Дуже висока	Для створення 3-D моделей об'єктів

наземного лазерного сканера. Форма оболонки та розташування точок вимірювань тахеометром наведено на рис. 3.

Загальна кількість виміряних точок дорівнює 121. За методом найменших квадратів [1] було знайдено: рівняння гіпара

$$z=0,00500512xy$$

і середню квадратичну похибку апроксимації $\mu=10,8$ мм. Графік розподілу деформацій оболонки в міліметрах наведено на рис. 4.

Для тієї ж оболонки було виконано лазерне сканування із загальною кількістю виміряних точок 7500. За методом найменших квадратів були знайдені рівняння гіпара

$$z=0,0049965xy$$

і середня квадратична похибка апроксимації $\mu=7,6$ мм. Графік розподілу деформацій в міліметрах наведено на рис. 5.

Для наочності побудуємо тривимірні моделі деформацій оболонки, отримані за допомогою методу наземного лазерного сканування та електронного тахеометра (рис. 6 і 7).

Оскільки вимірювання виконувались за першим і за другим методами в режимі без відбивача, а відстань вимірювання не перевищувала 15 м, то точність визначення координат окремої точки електронним тахеометром і наземним лазерним сканером є однаковою. За таких умов метод наземного лазерного сканування має наступні переваги:

– вдвічі більша швидкість виконання зйомок;

– вища точність моделювання поверхні оболонки ($7,6 \text{ мм} < 10,8 \text{ мм}$);

– завдяки величезній надлишковості вимірювань можливість виявлення локальних деформацій оболонки (рис. 4 і 5).

Отримані результати дозволяють рекомендувати метод наземного лазерного сканування до застосування в практиці геодезичного виробництва для вирішення задач моніторингу за станом просторових оболонок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шульц Р.В., Білоус М.В. *Методи і алгоритми математичного моделювання просторових переміщень тунелів метрополітену.* // *Прикладна геометрія та інженерна графіка, Київ, 2008 р.* – С. 532-536. Вун. 80

2. Tahir Rabbani Shah. *Automatic Reconstruction of Industrial Installations Using Point Clouds and Images. Dissertation. Netherlands Geodetic Commission. Delft, May 2006 175p.*

АННОТАЦІЯ

Рассмотрена технология определения деформаций пространственных оболочек методом наземного лазерного сканирования.

Ключевые слова: пространственные оболочки, лазерное сканирование, фототахеометр.

SUMMARY

The technology for determination of spatial covers deformations by terrestrial laser scanning is considered.

Key word: spatial covers, laser scanning, phototacheometr.