

Р.В. ШУЛЬЦ, канд.техн.наук, доц.  
(Київський національний університет будівництва і архітектури)

## **ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ЗА ДАНИМИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ**

*Наведено результати експериментального дослідження точності та ефективності знімання циліндричних резервуарів за допомогою методів наземного лазерного сканування та електронної тахеометрії в режимі без відбивача.*

### **Постановка проблеми**

Поява на ринку геодезичного устаткування систем наземного лазерного сканування викликала величезний інтерес серед геодезистів різних напрямків діяльності. Можливості таких систем не обмежуються рішенням суто завдань топографічного знімання і архітектурних обмірів. Існує цілий ряд завдань, які відносяться до класики інженерної геодезії або навпаки раніше не належали до задач геодезії, і рішення яких завжди віднімало у геодезистів та інших служб значну кількість часу і коштувало значних матеріальних витрати. До таких завдань відносяться: виконання контрольно-монтажних вимірювань і виконавчого знімання при будівництві інженерних споруд, спостереження за вертикальними і горизонтальними осіданнями і переміщеннями, вирішення задач вертикального планування, маркшейдерські роботи при експлуатації об'єктів гірничодобувної промисловості і ін.

Одним з досить трудомістких процесів є визначення параметрів вертикальних і горизонтальних циліндричних резервуарів. До основних величин, що підлягають визначенню відносяться для вертикальних резервуарів: довжина кола першого поясу, радіальні відхилення твірних резервуару від вертикалі, ступінь нахилу резервуару, висота поясів, об'єм внутрішніх деталей, місткість «мертвої» порожнини, базова висота резервуару. Очевидно, що визначення такої кількості характеристик за допомогою нівеліра, теодоліта, рулетки і вимірювальних кареток завдання, що вимагає титанічної праці. До того ж ДСТУ [1;2] не враховують виникнення можливої деформації резервуарів при їх експлуатації і не наводять способів її визначення.

Основними сучасними приладами, які застосовуються в будівництві і у вирішенні задач моніторингу є електронні тахеометри, що працюють в режимі без відбивача. Саме такі тахеометри є суперниками систем наземного лазерного сканування у вирішенні інженерно-геодезичних задач. Тому цілком актуальним є питання порівняння можливостей цих сучасних приладів і визначення завдань які слід вирішувати за допомогою того або іншого приладу.

### **Огляд попередніх публікацій**

Немає сенсу розглядати публікації, присвячені темі роботи, які були опубліковані понад десять років назад, оскільки прилади, які розглядаються в даній публікації набули найбільшого розповсюдження в XXI столітті. Визначення параметрів циліндричних резервуарів найчастіше виконують при зніманні об'єктів нафтової та газової промисловості та при зніманні крупних підприємств. Показовим в цьому напрямку є досвід багатьох компаній виробників систем лазерного сканування та електронних тахеометрів, в першу чергу це: Leica Geosystems, Rigel та ін. Великий досвід у використанні наземного лазерного сканування та електронних тахеометрів мають російські компанії: «НАВГЕОКОМ», «ПРИН», «Уралгеоинформ». З

результатами цих компаній можна ознайомитись на відповідних сайтах. В Україні роботи пов'язані з визначенням геометричних параметрів циліндричних резервуарів виконує науково-виробничий інститут метрологічного забезпечення вимірювань геометричних, механічних та віброакустичних величин Укрметртестстандарту. Важливо зауважити, що існує два підходи до визначення шуканих параметрів. Перший підхід реалізується при зніманні заповнених резервуарів, прикладом таких робіт є [3;4]. В такому випадку виконують обчислення градуовальник таблиць та ведуть спостереження за можливими деформаціями заповненого резервуару. Другий підхід використовують при калібруванні резервуарів і створенні градуовальник таблиць, за умов, що резервуар порожній. В другому випадку виникає можливість виконати знімання резервуару з середини, що значно зменшує об'єми робіт. Саме за умов порожнього резервуару проведено дане дослідження.

**Мета** роботи провести порівняльне дослідження точності та ефективності знімання циліндричних резервуарів за допомогою методів наземного лазерного сканування та електронної тахеометрії в режимі без відбивача.

### Основний зміст роботи

Порівняння можливостей електронних тахеометрів і систем наземного лазерного сканування було проведено при визначенні параметрів вертикального циліндричного резервуару. Резервуар наближено має висоту 12 метрів і діаметр 19 метрів. Експериментальне дослідження системи наземного лазерного сканування Leica ScanStation2 було проведено за підтримки фірми «ДОКА». Дослідження можливостей використання електронних тахеометрів було виконано за підтримки науково-виробничого інституту метрологічного забезпечення вимірювань геометричних, механічних та віброакустичних величин Укрметртестстандарту. Автор роботи висловлює свою щиру вдячність всім організаціям за підтримку у проведенні дослідження.

Питання точності виконання робіт пов'язане з точністю апроксимації поверхні резервуару. Розглянемо це питання за методикою, що розроблена проф. Чмчяном Т.Т. При апроксимації за методом найменших квадратів (МНК) визначають коефіцієнти рівняння поверхні, що апроксимується. Отже середня квадратична похибка буде представляти СКП цього рівняння поверхні [7]:

$$m = \left( \frac{\partial F}{\partial x_1} \right)^2 m_A^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial x_2} \right)^2 m_B^2 + \dots$$

де  $m_A^2 = \mu^2 Q_{11}$ ;  $m_B^2 = \mu^2 Q_{22}$ ; ...

Якщо прийняти:

$$\mu^2 = 2(n - k)m^2(\mu)$$

де  $m^2(\mu)$  - СКП похибки вимірювання, вага якого прийнята за одиницю.

Матимемо

$$m^2(\mu) = \frac{m^2}{2(n-k) \left[ \left( \frac{\partial F}{\partial x_1} \right)^2 Q_{11} + \left( \frac{\partial F}{\partial x_2} \right)^2 Q_{22} + \dots \right]} \quad (1)$$

Тоді гранична похибка не повинна перевищувати:

$$\Delta(\mu) = \frac{\Delta}{\sqrt{2(n-k) \left[ \left( \frac{\partial F}{\partial x_1} \right)^2 Q_{11} + \left( \frac{\partial F}{\partial x_2} \right)^2 Q_{22} + \dots \right]}} \quad (2)$$

За цими виразами (1-2) можна визначити точність визначення координат точок на поверхні резервуару. В нормативній документації [1;2] нажалі не наводяться безпосередньо допуски на точність визначення координат точок резервуару. Вимоги, які наведені в [1] для вертикальних резервуарів наведені в таблиці 1.

**Табл. 1.** Допустимі похибки вимірювання параметрів вертикальних резервуарів

Параметр	Допустима похибка вимірювання параметрів резервуарів місткістю, м <sup>3</sup>	
	100-4000	5000-50000
Довжина кола першого пояса, %	± 0,022	± 0,022
Висота пояса, мм	± 5	± 5
Об'єм внутрішніх деталей, м <sup>3</sup>	± (0,005-0,025)	± (0,025-0,25)

При умові дотримання цих вимог точність визначення об'ємів буде знаходитись в межах, що наведені в таблиці 2. Вимоги до точності визначення параметрів горизонтальних резервуарів наведені в таблиці 3.

**Табл. 2.** Допустимі похибки визначення об'ємів вертикальних резервуарів у %

Допустима похибка визначення параметрів резервуарів місткістю, м <sup>3</sup>		
100-3000	3000-4000	5000-50000
± 0,2	± 0,15	± 0,1

**Табл. 3.** Допустимі похибки вимірювання параметрів горизонтальних резервуарів

Параметр	Допустима похибка вимірювання параметрів резервуарів місткістю, м <sup>3</sup>	
	25-75	100-200
Внутрішній діаметр пояса, %	± 0,08	± 0,06
Довжина пояса, %	± 0,1	± 0,08
Координати точки вимірювання базової висоти, мм	± 5	± 5
Висота конуса, мм	± 1	± 1
Об'єм внутрішніх деталей, м <sup>3</sup>	± 0,01	± 0,005

При апроксимації безпосередньо є можливість оцінити точність параметрів, що входять у формулу для обчислення об'єму  $V = \pi R^2 h$ .

Якщо використати формулу для оцінки об'єму з роботи [3]:

$$m_V^2 = 4\pi^2 R^2 h^2 m_R^2 + \pi^2 R^4 m_h^2 \quad (3)$$

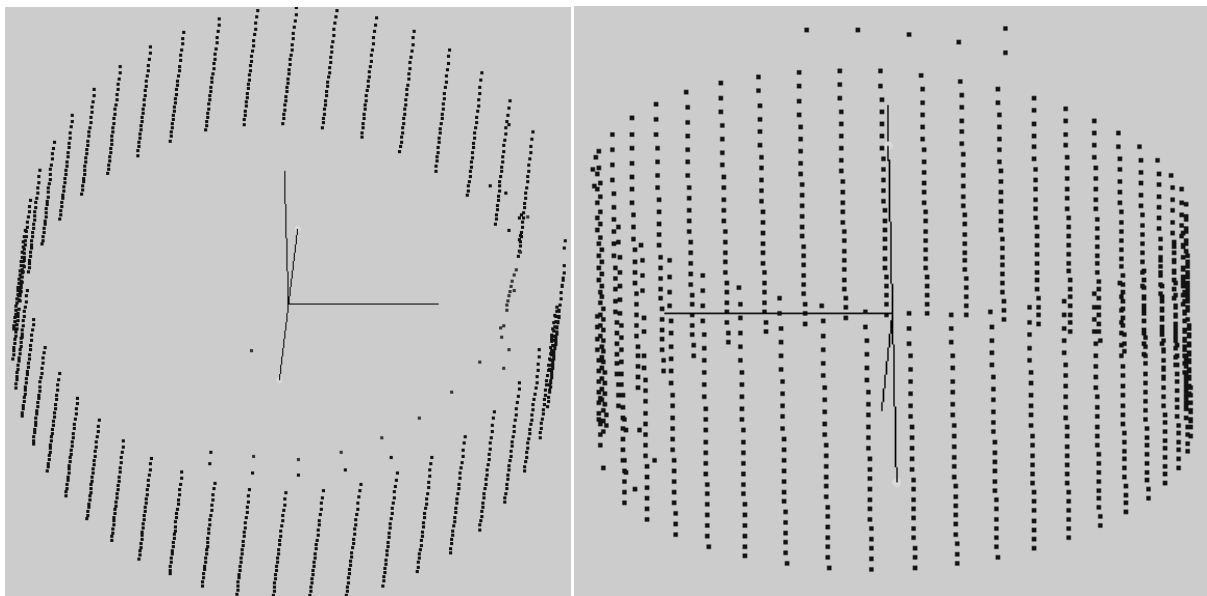
за принципом рівного впливу з (3) отримаємо:

$$m_R = \frac{m_V}{\sqrt{8\pi R h}}; \quad m_h = \frac{m_V}{\sqrt{2\pi R^2}}; \quad m_V = \pm \frac{\delta_V}{3}.$$

Для резервуару з параметрами, що наведені вище отримаємо  $m_R = 2$  мм,  $m_h = 4$  мм. Після виконання експерименту ми матимемо можливість порівняти точність отримання оцінки параметрів з допустимою точністю.

Технологічно експеримент складався з двох різних етапів робіт. На першому етапі за допомогою електронного тахеометра Trimble з СКП вимірювання вертикальних і горизонтальних кутів 1 кут. сек. і точністю вимірювання ліній в режимі без відбивача  $2 + 2$  мм/км., було проведено знімання внутрішньої поверхні циліндричного резервуару. Тривалість робіт склала біля 3-х годин, із загальним об'ємом вимірювань - 1065 точок (рис. 1). Результати спостережень за допомогою електронного тахеометра можна вважати за безпомилкові.

Після виконання знімання електронним тахеометром було виконано математичну обробку результатів вимірювань і отримано рівняння циліндричної поверхні резервуару. Ця поверхня найкращим чином апроксимує поверхню резервуару. Для апроксимації було використано програмний продукт Leica Cyclone 6.0.4, який використовують для обробки результатів лазерного сканування та KTH-INORA, розробка Шведського Королівського технологічного інституту.



**Рис. 1.** Знімання електронним тахеометром вигляд зверху і збоку

З геометричної точки зору резервуар можна представити як поверхню, що утворена перетином більш простих геометричних об'єктів. До таких об'єктів відносяться: площина, циліндр та конус. Для виділення цих об'єктів слід обрати форму представлення поверхні і її параметри [5;6].

Параметрами площини є вектор нормалі  $\mathbf{n}$ , перпендикулярна відстань  $\rho$  до початку системи координат і додаткове обмеження на довжину вектора нормалі  $\|\mathbf{n}\| = \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2} = 1$ . Відстань будь-якої точки  $p$  від поверхні площини обчислюють як  $d = \mathbf{v}_p \cdot \mathbf{n} - \rho$ .

Параметрами циліндру є  $\mathbf{a} = (a_x \ a_y \ a_z)$  - напрямні косинуси осі циліндра,  $\mathbf{c} = (c_x \ c_y \ c_z)$  - координати точки на осі циліндра, яка є найближчою до початку координат і радіус. Якщо  $i$ -та точка знаходиться на поверхні циліндра то виконується наступне векторне рівняння  $\|(\mathbf{p} - \mathbf{c}) \times \mathbf{a}\| - r = 0$ . До рівнянь поправок слід додати додаткові обмеження  $\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = 1$ ;  $a_x c_x + a_y c_y + a_z c_z = 0$

Параметрами конусу є  $\mathbf{t} = (t_x \ t_y \ t_z)$  - координати його вершини,  $\mathbf{a} = (a_x \ a_y \ a_z)$  - напрямні косинуси осі, і параметр зміни радіусу, який найчастіше представлений через кут при вершині конуса. Відстань від точки  $p$  до поверхні конуса визначається як:

$$d = \|\mathbf{h}\| \sin \left( \cos^{-1} \left\langle \frac{\mathbf{h}}{\|\mathbf{h}\|}, \mathbf{a} \right\rangle - \theta \right),$$

де  $\mathbf{h} = \mathbf{p} - \mathbf{t}$ .

Головною задачею є коректна апроксимація поверхні циліндра. Апроксимацію виконано за МНК, методом найменших модулів (МНМ) та методом міні-максу (МММ). Результати обробки в програмі КТН-INORA наведено в таблиці 4.

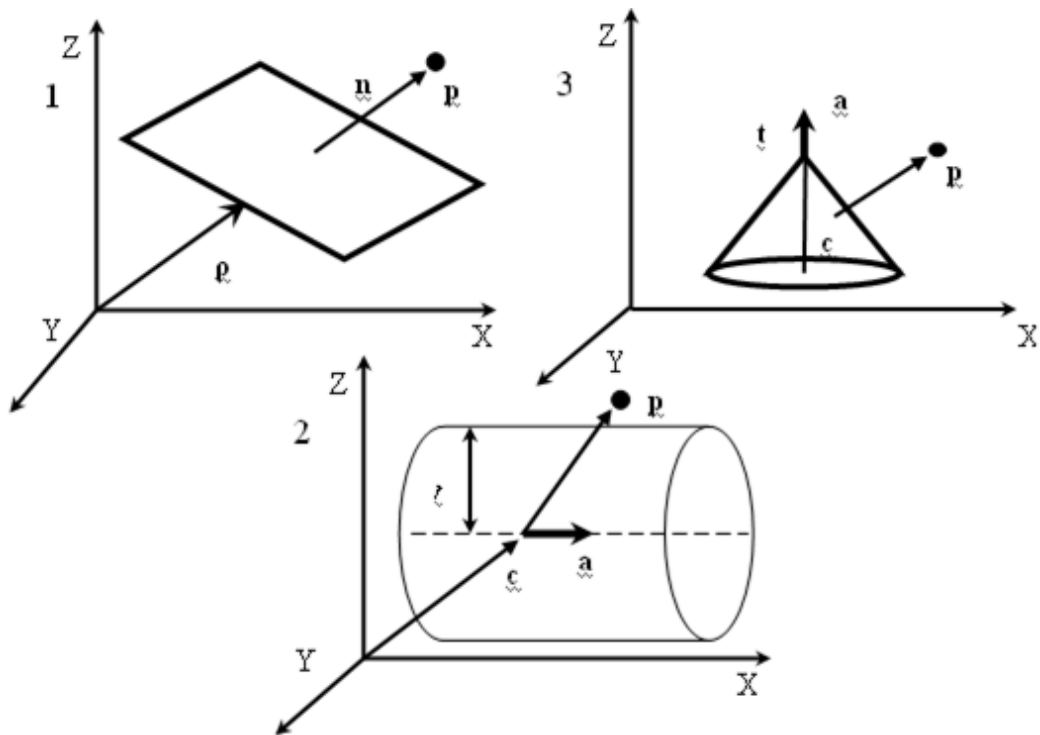
**Табл. 4.** Результати апроксимації резервуару поверхнею циліндра(1065 точок)

	Нижня точка на осі			Верхня точка на осі			Радіус	Мах відхил.
	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>		
МНМ	201.142	200.338	0.041	201.144	200.320	11.752	9.481	0.045
МММ	201.141	200.332	0.041	201.143	200.314	11.752	9.482	0.037
МНК	201.142	200.336	0.041	201.144	200.319	11.752	9.478	0.044

В результаті апроксимації ми отримуємо: радіус циліндру; координати верхньої і нижньої точок циліндру які визначають напрямок осі циліндру і за допомогою яких можна обчислити напрямні косинуси осі резервуару та визначити її нахил; оцінку точності визначення координат верхньої і нижньої точок та радіусу циліндра за МНК.

**Табл. 5.** Оцінка точності та напрямні косинуси осі циліндра

$m_x$ , мм	$m_y$ , мм	$m_z$ , мм	$m_R$ , мм	$a_x$	$a_y$	$a_z$
0,6	0,6	0,6	0,5	0.0001707956	-0.0014690573	0.9999989063



**Рис. 2.** Основні параметри 1 – площини, 2 – циліндра, 3 – конуса

СКП апроксимації  $m = 15$  мм. Для порівняння виконаємо апроксимацію поверхнею еліптичного циліндра результати якої наведено в таблицях 6 і 7.

**Табл. 6.** Результати апроксимації резервуару поверхнею еліптичного циліндра(1065 точок)

	Нижня точка на осі			Верхня точка на осі			a	b	Мах відх ил.
	X	Y	Z	X	Y	Z			
МНМ	201.139	200.333	-0.0401	201.142	200.316	11.752	9.494	9.467	0.029
МММ	201.138	200.329	-0.0401	201.142	200.312	11.752	9.494	9.469	0.033
МНК	201.140	200.334	-0.0401	201.143	200.317	11.752	9.492	9.467	0.034

СКП апроксимації  $m = 12$  мм. Результати апроксимації поверхнею циліндра і еліптичного циліндра майже не відрізняються між собою. Точність апроксимації поверхнею еліптичного циліндра є дещо вищою, що вказує на можливу незначну еліптичність поверхні резервуару. Порівнюючи точність визначення параметрів резервуару з необхідною точністю робимо висновок про повне забезпечення точності визначення параметрів резервуару згідно з нормами.

**Табл. 7.** Оцінка точності та напрямні косинуси осі еліптичного циліндра

$m_x$ , мм	$m_y$ , мм	$m_z$ , мм	$m_a$ , мм	$m_b$ , мм	$a_x$	$a_y$	$a_z$
0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0.00025295	-0.00144160	0.9999989289

Заслуговує уваги порівняння отриманих результатів з результатами апроксимації в програмі Leica Cyclone 6.0.4, таблиця 8 і 9.

**Табл. 8.** Результати апроксимації резервуару поверхнею циліндра(Leica Cyclone)

	Нижня точка на осі			Верхня точка на осі			Діаметр	Мах відхил.
	X	Y	Z	X	Y	Z		
МНК	201.144	200.342	-0.043	201.142	200.311	11.764	18.965	0,042

Отримані розбіжності у значеннях напрямних косинусів пов'язані з використанням в програмі KTH-INORA вагових коефіцієнтів для відхилень, що перевищують певне порогове значення.

**Табл. 9.** Оцінка точності та напрямні косинуси осі циліндра

$m$ мм	$a_x$	$a_y$	$a_z$
15	0.0002	-0.0026	1

На другому етапі з центру резервуару було виконано лазерне сканування, лазерним сканером Leica Scan Station 2 (рис. 3). Загальний об'єм вимірювань - 71265 точок, час вимірювань - 30 хвилин.

Надалі була виконана децимація хмари точок лазерного сканування. Розмір хмари було зменшено до 10000 точок. За цим обсягом точок були обчислені параметри резервуару.

**Табл.10.** Результати апроксимації резервуару поверхнею циліндра(10000 точок)

	Нижня точка на осі			Верхня точка на осі			Радіус	Мах відхил.
	X	Y	Z	X	Y	Z		
МНМ	-0.918	-0.480	-2.585	-0.958	-0.469	9.081	9.485	0.044
МММ	-0.917	-0.483	-2.585	-0.957	-0.471	9.081	9.483	0.042
МНК	-0.914	-0.481	-2.585	-0.954	-0.470	9.081	9.483	0.046

**Табл. 11.** Оцінка точності та напрямні косинуси осі циліндра

$m_x$ , мм	$m_y$ , мм	$m_z$ , мм	$m_R$ , мм	$a_x$	$a_y$	$a_z$
0,2	0,2	0,2	0,1	-0.0034273769	0.0009723591	0.9999936538

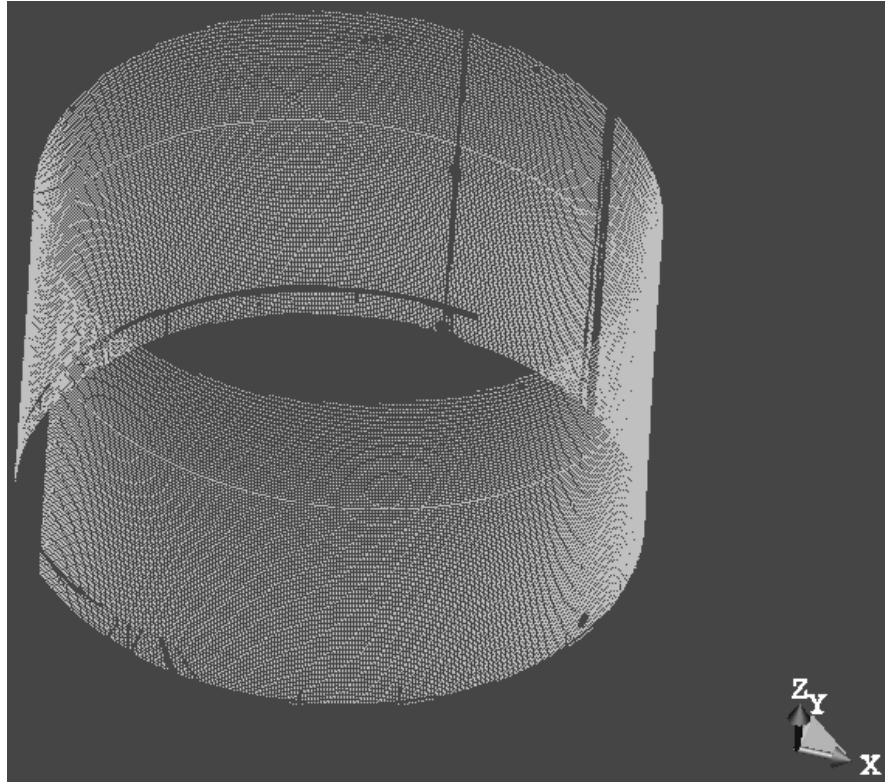
СКП апроксимації  $m = 15$  мм. Для порівняння виконаємо апроксимацію поверхнею еліптичного циліндра результати якої наведено в таблицях 12 і 13.

**Табл. 12.** Результати апроксимації резервуару поверхнею еліптичного циліндра(10000 точок)

	Нижня точка на осі			Верхня точка на осі			a	b	Мах відхил.
	X	Y	Z	X	Y	Z			
МНМ	-0.914	-0.480	-2.585	-0.954	-0.469	9.100	9.477	9.490	0.036
МММ	-0.913	-0.480	-2.585	-0.953	-0.469	9.100	9.470	9.493	0.039
МНК	-0.911	-0.480	-2.585	-0.951	-0.469	9.100	9.468	9.486	0.042

**Табл. 13.** Оцінка точності та напрямні косинуси осі еліптичного циліндра

$m_x$ , мм	$m_y$ , мм	$m_z$ , мм	$m_a$ , мм	$m_b$ , мм	$a_x$	$a_y$	$a_z$
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-0.003427377	0.0009723591	0.9999936538



**Рис. 3.** Хмара точок вертикального циліндричного резервуару

СКП апроксимації  $m = 13$  мм. При використанні такого значного об'єму вимірювань результати апроксимації поверхнею циліндра і еліптичного циліндра починають суттєво відрізнятися між собою, що свідчить, як було вказано раніше про певну еліптичність поверхні резервуару або його деформацію.

Порівняємо отримані результати з результатами апроксимації в програмі Leica Cyclone 6.0.4 таблиця 14 і 15.

**Табл. 14.** Результати апроксимації резервуару поверхнею циліндра (Leica Cyclone 10000 точок)

	Нижня точка на осі			Верхня точка на осі			Діаметр	Мах відхил.
	X	Y	Z	X	Y	Z		
МНК	-0.919	-0.481	-2.577	-0.947	-0.469	9.091	18.965	0,056

**Табл. 15.** Оцінка точності та напрямні косинуси осі циліндра

$m$ мм	$a_x$	$a_y$	$a_z$
15	-0.0024	0.001	1

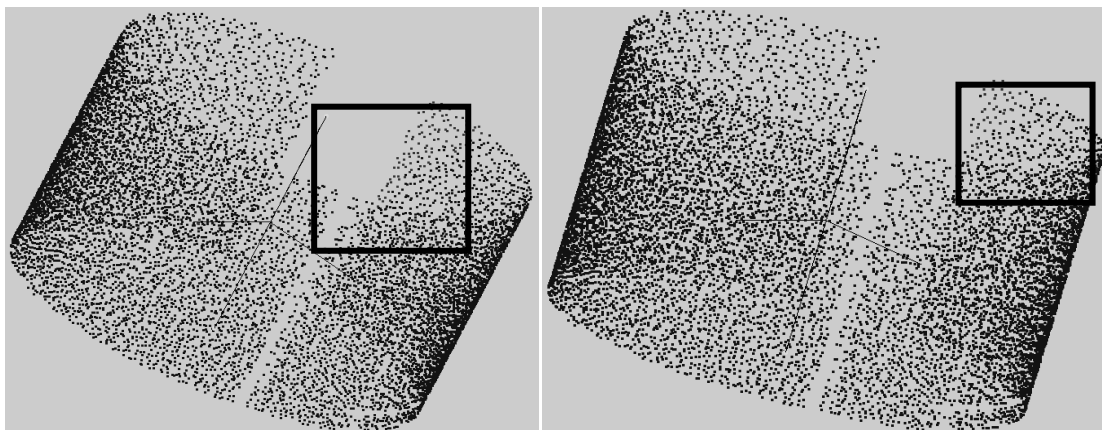
В програмі фірми Leica максимальне відхилення склало 56 мм. Тому доцільно провести додаткове дослідження. Виконаємо апроксимацію поверхні резервуару з виключенням грубих помилок. Така функція можлива в програмі KTH-INORA. Результати розрахунку представлені на рис. 4. Де окремо виділені області де відхилення перевищують допустимі значення.

Після виключення недопустимих відхилень виконаємо апроксимацію поверхнею циліндра та еліптичного циліндра таблиця 16 і 17.



**Табл. 16.** Результати апроксимації резервуару поверхнею циліндра(10000 точок)

	Нижня точка на осі			Верхня точка на осі			Радіус	Мах відхил.
	X	Y	Z	X	Y	Z		
МНМ	-0.917	-0.480	-2.587	-0.959	-0.469	9.082	9.485	0.044
МММ	-0.916	-0.482	-2.587	-0.958	-0.472	9.082	9.483	0.042
МНК	-0.913	-0.480	-2.587	-0.956	-0.467	9.082	9.483	0.045



**Рис. 4.** Зони недопустимих відхилень від поверхні апроксимації

Точність апроксимації практично не відрізняється від випадку, коли використовують всю хмару точок. Можна зробити дуже важливий висновок. При значній надлишковості спостережень окремі відхилення майже не впливають на загальну точність визначення параметрів резервуару. Процедура апроксимації стає стійкою до впливу грубих помилок вимірювань. Врахування недопустимих відхилень дає можливість локалізувати можливі зони деформації резервуару або порушення його проектної геометрії. На рис 4 чітко видно зону, де абсолютно всі вимірні значення знаходяться за межами допуску. Це вказує на можливу зміну геометрії резервуару в цьому місці.

**Табл. 17.** Результати апроксимації резервуару поверхнею еліптичного циліндра(10000 точок)

	Нижня точка на осі			Верхня точка на осі			a	b	Мах відхил.
	X	Y	Z	X	Y	Z			
МНМ	-0.913	-0.480	-2.586	-0.954	-0.469	9.101	9.477	9.490	0.036
МММ	-0.913	-0.480	-2.586	-0.954	-0.469	9.101	9.470	9.493	0.040
МНК	-0.911	-0.480	-2.586	-0.952	-0.469	9.101	9.468	9.486	0.043

Нажаль програма Leica Cyclone 6.0.4 не дозволяє одразу графічно відобразити точки з аномальними відхиленнями.

На останок виконаємо обробку повної хмари точок в програмі Leica Cyclone 6.0.4.

**Табл. 18.** Результати апроксимації резервуару поверхнею Циліндра (Leica Cyclone 71265 точок)

	Нижня точка на осі			Верхня точка на осі			Діаметр	Мах відхил.
	X	Y	Z	X	Y	Z		
МНК	-0.919	-0.481	-2.580	-0.947	-0.469	9.098	18.966	0,061

**Табл. 19.** Оцінка точності та напрямні косинуси осі циліндра

$m$ мм	$a_x$	$a_y$	$a_z$
15	-0.0024	0.001	1

За даними таблиць 18 і 19 можна зробити інший важливий висновок: при збільшенні кількості точок понад певний об'єм оцінені значення параметрів та їх точність залишаються практично незмінними. Таким чином, немає необхідності виконувати роботи з мінімально можливим кроком сканування.

### Висновки і перспективи

Отримані в результаті апроксимації параметри резервуару за даними знімання електронним тахеометром і лазерним сканером практично не відрізняються між собою і знаходяться в межах допусків, які встановлені відповідними нормативними документами. В результаті виконання робіт встановлено, що технологія наземного лазерного сканування дозволяє в комплексі вирішувати задачу визначення геометричних параметрів циліндричних резервуарів з точністю сумірною з точністю точного електронного тахеометра. В подальшому слід зосередити увагу на технології виконання робіт. Це особливо важливо в тому випадку, коли сканування потрібно виконувати ззовні резервуару.

### Бібліографічний список

1. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки: ГОСТ 8.570-2000. - 2002.
2. Резервуары стальные горизонтальные цилиндрические. Методика поверки: ГОСТ 8.346-2000. - 2002.
3. Определение вместимости вертикальных стальных цилиндрических резервуаров методом горизонтальных сечений / А.Ю. Второв, А.П. Пигин, Д.В. Чадович [и др.] // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2006. - №20. - С. 10-22.
4. Gairns C. Development of a Semi-Automated System for Structural Monitoring Using a Reflectorless Total Station. Thesis for the Degree of Master of Science. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, New Brunswick? Canada 2008, p. 117.
5. Elkhachy I., Towards an Automatic Registration for Terrestrial Laser Scanner Data. Thesis for the Degree of Master of Science. Institut fur Geodasie und Photogrammetrie, Technische Universitat Braunschweig, Germany, 2008, p. 128.
6. Rabbani T. Automatic Reconstruction of Industrial Installations Using Point Clouds and Images. Thesis for the Degree of Doctor of Science. Nederlandse Commissie voor Geodesie Netherlands Geodetic Commission Delft, May 2006, p. 175.
7. Чмчян Т.Т. Расчет точности геодезических работ в строительстве: справочник / Т.Т. Чмчян. - М.: Недра, 1988. - 151 с.

*Надійшла до редколегії 27.11.2009*

Р.В. ШУЛЬЦ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ  
РЕЗЕРВУАРОВ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

*Приведены результаты экспериментального исследования точности и эффективности съемки цилиндрических резервуаров с помощью методов наземного лазерного сканирования и электронной тахеометрии в режиме без отражателя.*

R. SHULTS

**DETERMINATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF CYLINDRICAL  
RESERVOIRS BY DATA OF TERRESTRIAL LASER SCANNING**

*The results of experimental research of accuracy and efficiency of cylindrical reservoirs survey are obtained by means of terrestrial laser scanning and reflectorless electronic tacheometry.*

© Р.В. Шульц, 2010