

УДК 665.7:658.787:621.642.3:004.92(086.4) <https://doi.org/10.33271/crpnmu/78.225>

© І.В. Акользін<sup>1</sup>, О.М. Самойленко<sup>2</sup>, Є.А. Коровяка<sup>1</sup>, О.В. Адаменко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

<sup>2</sup>Науково-виробничий інститут ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», Київ, Україна

<sup>3</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

## СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНА ЕМПІРИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ МІСТКОСТІ РЕЗЕРВУАРІВ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТАЛЕВИХ ПІД ЧАС ЇХ КАЛІБРУВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНИМ ВІДДАЛЕМІРНИМ МЕТОДОМ

© I. Akolzin<sup>1</sup>, O. Samoilenko<sup>2</sup>, Ye. Koroviaka<sup>1</sup>, O. Adamenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup>Scientific and industrial institute SE «UKRMETRTESTSTANDART», Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

## A WEIGHTED AVERAGE EMPIRICAL MODEL FOR DETERMINING THE CAPACITY OF VERTICAL STEEL TANKS DURING THEIR CALIBRATION USING THE ELECTRONIC-OPTICAL REMOTE MEASUREMENT METHOD

**Мета.** Підвищення точності обліку нафти та нафтопродуктів за рахунок впровадження нової схеми вимірювань за допомогою електронно-оптичного віддалемірного методу з використанням лазерного 3D сканера.

**Методика дослідження.** Для досягнення поставленої мети використані наступні методи досліджень: емпіричне моделювання – для визначення градуювальних характеристик вертикальних циліндричних резервуарів (далі – резервуар) з врахуванням фактичних деформацій стінки під дією ваги наливої рідини; електронно-оптичний віддалений метод вимірювань – для обчислення середньозваженої градуювальної таблиці шляхом зваженого усереднення градуювальних таблиць порожнього та повного резервуару.

**Результати дослідження.** Виявлено суттєві розбіжності між фактичними деформаціями стінок резервуарів вертикальних сталевих під дією ваги наливої рідини та теоретичними моделями врахування цих деформацій, зазначених в нормативній документації, за якими вони калібруються. Запропоновано середньозважену емпіричну модель, яка дозволяє вирішити цю проблему шляхом зваженого усереднення градуювальних таблиць повного та порожнього резервуару.

**Наукова новизна.** Вперше було виконано високоточне визначення фактичних деформацій стінок резервуарів вертикальних циліндричних під дією ваги наливої рідини за допомогою лазерного 3D сканера, що дозволило створити середньозважену емпіричну модель, яку використали для обчислення середньозваженої градуювальної таблиці, що значно підвищило точність обліку нафти та нафтопродуктів.

**Практичне значення.** Отримана середньозважена градуювальна таблиця, яка враховує фактичні деформації стінок резервуару під дією ваги наливої рідини, значно підвищить точність обліку. Це також дасть можливість досягти необхідної точності обліку нафти та нафтопродуктів в резервуарах, деформація яких не відповідає теоретичній моделі, що використовується в нормативній документації з їх калібрування.

**Ключові слова:** інтервальна місткість, середньозважена емпірична модель, калібрування, електронно-оптичний віддалемірний метод, сканування, деформації стінки резервуару.

**Вступ.** Точність визначення місткості резервуарів вертикальних сталевих (далі – резервуар) залежить не тільки від точності вимірювань, а і від точності обчислень деяких суттєвих поправок. До них відноситься поправка за деформацію стінки під дією ваги наливої рідини, яка передбачає обчислення за теоретичною моделлю. Дана поправка обчислюється для кожного окремого резервуару в залежності від його радіусу, висоти наливої до них рідини, густини рідини та товщини стінки. Ця поправка дозволяє враховувати деформацію резервуару за будь-якого рівня наповнення. В ДСТУ 4147-2003 «Метрологія. Резервуари сталеві вертикальні циліндричні. Методика повірки», така поправка вводиться в кожен пояс резервуару, в ДСТУ 7473:2016 «Метрологія. Резервуари стаціонарні вимірювальні вертикальні. Методика повірки (калібрування) геометричним методом з застосуванням геодезичних приладів» розраховується на кожен міліметр збільшення висоти рівня рідини. Моделі врахування деформацій в цих документах виходять з тої гіпотези, що стінки резервуару знаходяться у вільному (не напруженому) стані. Але фактично, стінки резервуару знаходяться в напруженому, деформованому стані. Вага наливої рідини долає ці напруження. В результаті, фактичні деформації стінок не відповідають теоретичним моделям їх деформації, а це суттєво впливає на похибку визначення місткості резервуару. В джерелах відсутня методика врахування фактичних деформацій стінок резервуарів під час їх калібрування.

Облік нафти та нафтопродуктів за допомогою резервуарів вертикальних циліндричних ведеться з урахуванням того, що похибка визначення градуювальних характеристик резервуару, в даному випадку РВС-5000, не перевищує 0,1% від наповнення.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** На даний час, в Україні нормативними документами, за якими калібруються резервуари вертикальні сталеві є ДСТУ 4147-2003 «Метрологія. Резервуари сталеві вертикальні циліндричні. Методика повірки» [1] та ДСТУ 7473:2016 «Метрологія. Резервуари стаціонарні вимірювальні вертикальні. Методика повірки (калібрування) геометричним методом з застосуванням геодезичних приладів» [2]. В цих документах описані методики вимірювань та обробки результатів вимірювань під час калібрування резервуарів. Загальні вимоги до стаціонарних резервуарів описані в [1–3]. Хоча в даних ДСТУ методи визначення градуювальних характеристик резервуарів суттєво відрізняються, розрахунок поправки за деформацію стінки під дією ваги наливої до них рідини схожі.

Якщо в резервуарі під час калібрування за методикою описаною в [1] знаходиться рідина, то спочатку вводиться поправка, що враховує вагу рідини наливої в резервуар під час калібрування. Це дозволить штучно спорожнити резервуар, щоб отримати внутрішню довжину кола першого поясу недеформованого під дією ваги наливої рідини  $L_{вн.ц}$ , яку обчислюють за формулою (ГЗ) [1]:

$$L_{вн.ц} = L_{вн} - 2\pi \cdot \Delta r_2, \quad (1)$$

де  $\Delta r_z$  – збільшення радіусу першого поясу резервуару під дією ваги наливої рідини, яке обчислюють за формулою (Г4) [1]:

$$\Delta r_z = \frac{\rho_{p.z} \cdot g \cdot L_{\text{вн}}^2 \cdot \left( H_z - \frac{3}{4} \cdot h_1 \right)}{4 \cdot 10^3 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \delta_1}, \quad (2)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, що дорівнює 9,8066 м/с<sup>2</sup>;  $\rho_{p.z}$  – густина рідини, що знаходиться в резервуарі під час калібрування;  $H_z$  – висота наповнення резервуару під час калібрування;  $h_1$  – висота першого поясу;  $E$  – модуль пружності матеріалу, Па (для сталі  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Па);  $\delta_1$  – товщина стінки першого поясу.

Після цього вводиться поправка  $\Delta V_{zi}$ , яка враховує деформації стінок резервуару під вагою наливої рідини, що зберігається при наповненні  $i$ -го поясу. Її обчислюють за формулою (Г.51) [1]:

$$\Delta V_{zi} = A_2 \cdot \left\{ \frac{0,8h_1}{\delta_1} \left( \sum_{j=1}^i h_j - \frac{h_1}{2} \right) + \sum_{i=2}^i \left[ \frac{h_1}{\delta_1} \left( \sum_{j=1}^i h_j - \frac{h_1}{2} \right) \right] \right\}, \quad (3)$$

де  $h_1, \delta_1$  – висота та товщина стінки першого поясу;  $h_j, \delta_j$  – висота та товщина стінки  $j$ -го наступного поясу;  $i$  – номер наповненого поясу;  $A_2$  – постійний коефіцієнт, обчислюють за формулою (Г.52) [1]:

$$A_2 = \frac{g \cdot \rho_{p.x} \cdot L_{\text{вн.ц}}^3 \cdot \sqrt{1 + \eta^2}}{4 \cdot 10^{12} \cdot \pi^2 \cdot E}, \quad (4)$$

де:  $\rho_{p.x}$  – густина рідини, що буде зберігатись в резервуарі;  $\eta$  – нахил резервуару;  $L_{\text{вн.ц}}$  – внутрішня довжина кола першого недеформованого поясу, що обчислюється за формулою (1).

Якщо в резервуарі під час калібрування за методикою описаною в [2] знаходиться рідина, спочатку вводиться поправка, що дозволить штучно спорожнити резервуар для отримання хмари точок недеформованого резервуару під дією ваги наливої рідини, яку обчислюють за формулою (Г.18) [2]:

$$\theta_{js}^{Pez.} = \theta_{js}^{Pez.} - \frac{g \cdot \rho_{нов.} \cdot R^{Pez.2}}{E \cdot 10^3} \cdot \frac{H_{\Gamma} - H_j^{Pez.}}{\bar{\delta}_s^{cm.}} - (\bar{\delta}_s^{cm.} - \bar{\delta}_s^{фap.}), \quad (5)$$

де  $\rho_{нов.}$  – густина рідини, яка міститься в резервуарі під час проведення вимірювань;  $R^{Pez.}$  – середній радіус резервуару;  $H_{\Gamma}$  – абсолютна висота наливої в резервуар рідини під час повірки (калібрування);  $H_j^{Pez.}$  – абсолютна висота  $j$ -тої точки на поверхні резервуару;  $\bar{\delta}_s^{cm.}$  – середня товщина стінки  $s$ -го поясу, на якому знаходиться  $j$ -та точка на поверхні резервуару;  $\bar{\delta}_s^{фap.}$  – середня товщина шару фарби стінки  $s$ -го поясу, на якому міститься  $j$ -та точка на поверхні резервуару.

Далі, вводиться поправка, яка враховує деформації резервуару під дією маси наливої рідини, що зберігається  $\Delta V_f^w$  в  $f$ -ту інтервальну місткість резервуару за формулою (12.37) [2]:

$$\Delta V_f^w = \frac{2 \cdot \pi \cdot g \cdot \rho_{збер.} \cdot R^{Pез.3} \cdot \Delta h}{E \cdot 10^3} \cdot \left( 0,8 \cdot \frac{H_1^{Pез.}}{\delta_1^{cm.}} + \sum_{l=2}^{s-1} \left[ \frac{H_l^{Pез.} - H_{l-1}^{Pез.}}{\delta_l^{cm.}} \right] + \frac{(H_f - H_{s-1}^{Pез.})}{\delta_s^{cm.}} \right), \quad (6)$$

де  $\rho_{збер.}$  – густина рідини, що зберігається у резервуарі під час експлуатування;  $s$  – номер пояса, де розміщено  $f$ -та інтервальну місткість резервуару;  $H_f$  – абсолютна висота наповнення резервуару, починаючи з  $H_f = 0$ .

Аналогічна методика обчислення результатів вимірювання використовується і в ISO 7507 «Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks» [4, 5]. В усіх перерахованих джерелах описують тільки теоретичні моделі обчислення поправки за деформацію стінки під дією ваги наливої рідини, а методику виявлення та врахування реальних деформацій вертикальних резервуарів в жодному джерелі автори не знайшли.

**Мета дослідження** полягає у підвищенні точності обліку нафти та нафтопродуктів. Для досягнення поставленої мети проведено опробування нової схеми вимірювань за допомогою електронно-оптичного віддалемірного методу з використанням лазерного 3D сканера. Визначено фактичні деформації стінки резервуару під дією ваги наливої рідини. Розроблено середньозважену емпіричну модель визначення місткості резервуару.

**Обґрунтування вживання і опис вибраної авторами методики.** Альтернативних методів, що можуть порівнятися в точності та продуктивності з визначення геометричних параметрів великих промислових об'єктів як електронно-оптичний віддалемірний метод з використанням лазерних 3D сканерів, не існує.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Калібрування двох вертикальних резервуарів номінальною місткістю 5000 м<sup>3</sup> виконувалось електронно-оптичним віддалемірним методом, описаним в ДСТУ 7473 [2] за допомогою лазерного 3D сканера FARO. Докладно методика вимірювань та оброблення результатів вимірювань описана в [6], кваліфікація персоналу, який може виконувати дані роботи описана в [7]. На території резервуарного парку було створено геодезичну мережу з постійними пунктами, що встановлено стаціонарно на весь час проведення вимірювань з метою приведення отриманих хмар точок до єдиної системи координат. А також, використовувались пересувні опорні пункти геодезичної мережі (сферичні марки з комплекту лазерного 3D сканера) для підвищення точності зшивання станцій сканування. Схема їх розміщення зображена на рис. 1 та рис. 2.

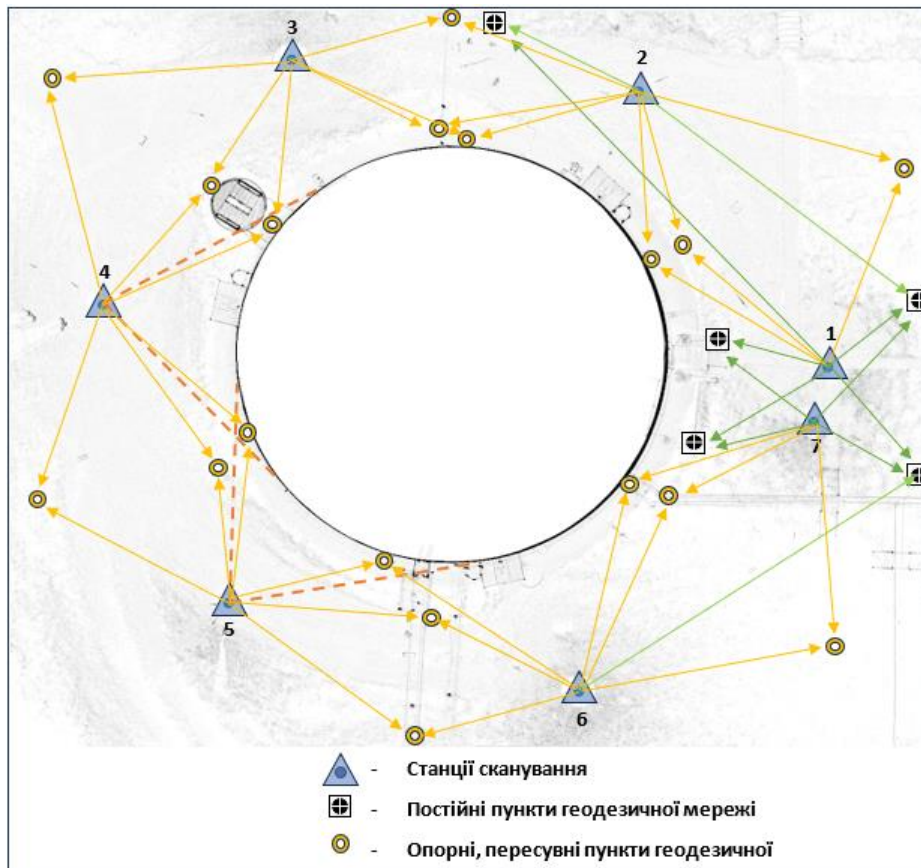


Рис. 1. Схема геодезичної мережі та вимірювань

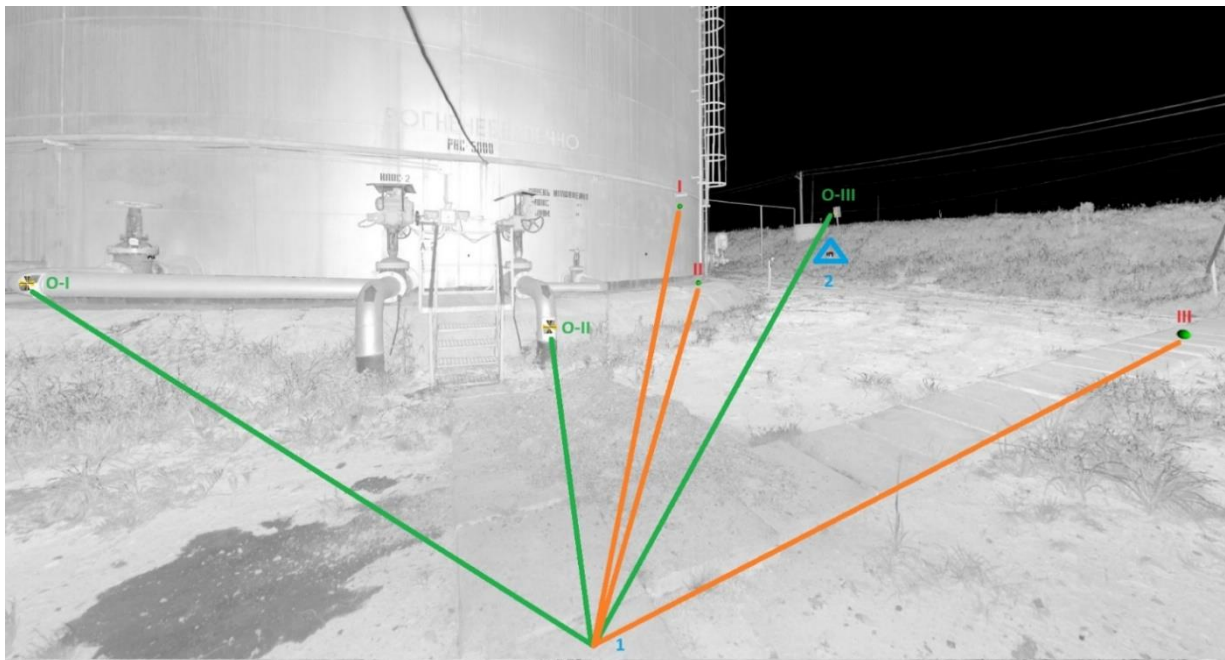


Рис. 2. Геодезична мережа, вид зі станції 1 на станцію 2

Для отримання хмари точок на стінках резервуарів з високою точністю, було створено геодезичну мережу навколо резервуару наступним чином:

- рівномірно розміщено станції сканування 1–7 навколо резервуару (див. рис. 1);
- зі станції 1 видно мінімум три постійні пункти геодезичної мережі (див. рис. 1);

- між станціями сканування розміщено мінімум три опорні пересувні пункти геодезичної мережі (див. рис.1, станції 1–2) рознесені по горизонтальному II–III та вертикальному кутах вимірювань I–II (див. рис. 2);
- під час вибору наступної станції обрано місце, щоб мінімум 20% поверхні резервуару, відскановані з попередньої станції, перекривались новими вимірюваннями для підвищення якості зшивання окремих сканів в загальну хмару точок (див. рис. 1, станції 4–5);
- остання станція сканування 7 захоплює мінімум два опорні пункти, що були відскановані зі станції 1, для замикання геодезичної мережі (див. рис. 1).

Такі вимірювання проведено для порожнього і наповненого резервуару, використовуючи вище описану методику вимірювань, для кожного резервуару окремо. В нашому випадку, під час першого вимірювання резервуари були наповнені на 50 см, що є мінімальним рівнем наповнення, нижче якого опорожнити резервуар в експлуатації неможливо. Під час повторного вимірювання резервуари були наповнені на 1450 см, що є граничною висотою наповнення резервуарів.

Теоретично, після обробки отриманих даних, калібрувальні таблиці мають бути однаковими як під час вимірювання порожнього, так і повного резервуарів. Це досягається за допомогою введення поправки, яка враховує вагу рідини налитої в резервуар під час калібрування, що дозволяє штучно повністю спорожнити резервуар за формулою (5). Далі, використовується поправка, яка враховує деформації резервуару під вагою наливої рідини під час зберігання, однаково, як для повного резервуару так і для порожнього за формулою (6). Тобто поправка, якщо вона адекватна, повинна відпрацювати так, щоб отримані результати обчислення місткості двох серій вимірювань, майже, не відрізнялись, або відрізнялись в розумних межах, обумовлених похибками вимірювань [8].

Були проведені розрахунки величини теоретичної поправки за формулою (6) для резервуару № 1, яка складає  $4,460 \text{ м}^3$  (0,09 %) за наповнення 1450 см. Тобто, під час обробки результатів вимірювань порожнього резервуару його фактичний об'єм має збільшитись на  $4,460 \text{ м}^3$  за граничного наповнення (рис. 3).

Після оброблення результатів вимірювань резервуару № 1 порожнього та повного з урахуванням всіх теоретичних поправок, було виявлено, що під час наповнення резервуар зменшив свою загальну місткість на  $5,518 \text{ м}^3$  (0,11 %). Після обробки порожнього резервуару ми отримали  $4958,667 \text{ м}^3$ , на граничне наповнення, а за повного резервуару  $4953,149 \text{ м}^3$  (рис. 3).

Аналогічно було оброблено результати резервуару № 2 порожнього та повного з урахуванням всіх теоретичних поправок, які мали б складати  $4,488 \text{ м}^3$  (0,09 %), було виявлено, що під час наповнення резервуар також зменшив свою загальну місткість на  $7,524 \text{ м}^3$  (0,15 %). Після обробки порожнього резервуару ми отримали  $4976,639 \text{ м}^3$ , а за повного резервуару  $4969,115 \text{ м}^3$  (рис. 3).

Таким чином бачимо, що реальна деформація стінок резервуару повністю не відповідає теоретичній моделі. Похибка визначення місткості отримана з використанням теоретичної моделі врахування деформацій стінок значно перевищує допустиме значення, і такий резервуар не може використовуватись у комерційному обліку нафтопродуктів за [1, 2, 9, 10].



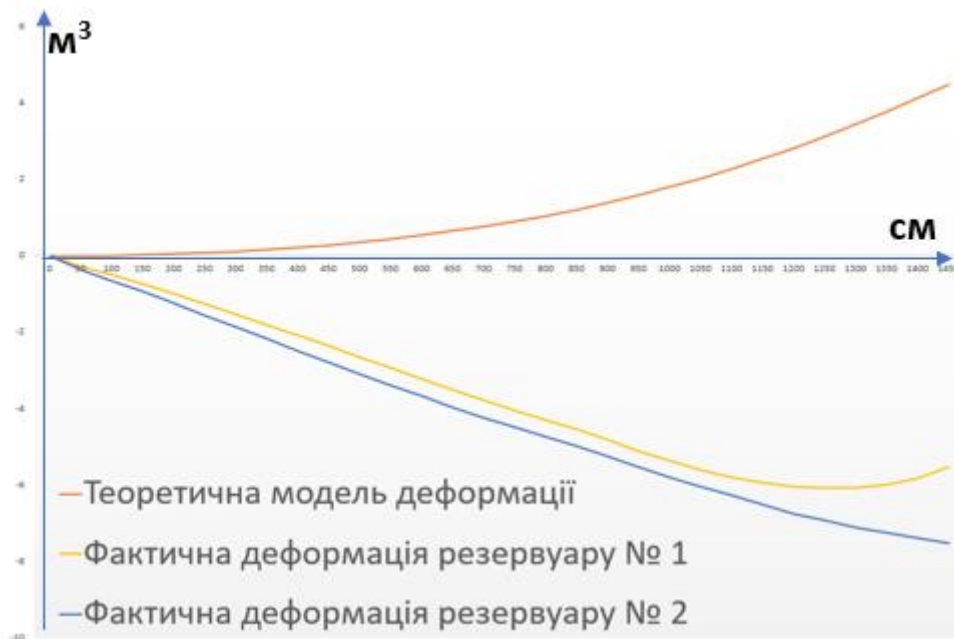


Рис. 3. Зміна місткості від деформації стінки резервуару, де вісь X – рівень наповнення резервуару в см, вісь Y – величина поправки в м<sup>3</sup>

Під час візуального огляду хмар точок порожнього та повного резервуарів накладених одна на одну (рис. 4), що можливо завдяки скануванню в одній системі координат, бачимо реальну картину деформацій. Моделі наповнених резервуарів виділені кольором, а сірим показана модель порожнього. Під час наповнення резервуару, частини стінок, що знаходяться ближче до вертикальних зварних швів вичавило, а середню частину листа навпаки втягнуло всередину.

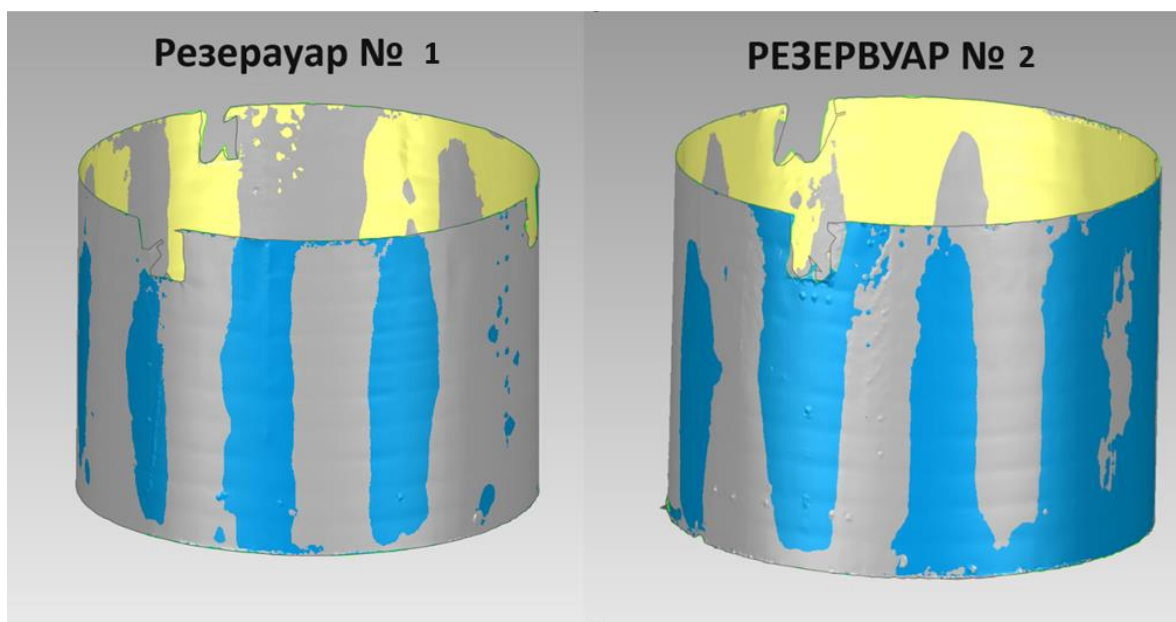


Рис. 4. Хмари точок порожнього (сірий) та повного (кольоровий) резервуарів

Теоретично, резервуар мав би деформуватись за іншою моделлю. Припустимо, що порожній резервуар мав форму ідеального циліндру, то наповнений прийняв би конічну форму, значно розширившись в нижніх поясах, а верхні пояси не повинні були зазнати деформацій.

Після проведеного аналізу, було прийнято рішення розрахувати калібрувальні таблиці використовуючи ті самі хмари точок резервуарів, але без урахування поправки за деформацію стінки під дією ваги наливої до них рідини. Виникає задача усереднити дві таблиці таким чином, щоб були одержані найбільш імовірні значення інтервальних місткостей. Логічним було б, що нижня частина таблиці була близька до тої, коли резервуар був порожнім, а верхня частина таблиці, коли резервуар був повним. В середині таблиці місткість резервуару повинна бути близькою до середньої між двома таблицями. Для реалізації такого підходу, пропонується середньозважена емпірична просторова модель, яка виражається формулою (7):

$$\bar{V}_f = \frac{P_{1f} \cdot V_{1f} + P_{2f} \cdot V_{2f}}{P_{1f} + P_{2f}}, \quad (7)$$

де  $V_{1f}$  та  $V_{2f}$  – місткість за градуовальною першою (резервуар порожній під час вимірювань) та другою (резервуар повний під час вимірювань) таблицею;  $P_{1f} = |H_f - H_{L2}|$  та  $P_{2f} = |H_f - H_{L1}|$  – ваги місткостей;  $H_f$  – рівень за градуовальною таблицею;  $H_{L1}$  та  $H_{L2}$  – рівень рідини в резервуарі, відповідно, за перших та других вимірювань, коли резервуар, відповідно, був порожній та повний.

Для ілюстрації сказаного вище, запишемо результати обчислень за формулою (1) в декількох характерних точках:

якщо  $H_f = H_{L1}$ , то  $P_{1f} = 0$ ,  $P_{2f} = |H_{L2} - H_{L1}|$  та  $\bar{V}_f = V_{1f}$ ;

якщо  $H_f = \frac{H_{L1} + H_{L2}}{2}$ , то  $P_{1f} = \frac{|H_{L1} - H_{L2}|}{2}$ ,  $P_{2f} = \frac{|H_{L2} - H_{L1}|}{2}$  та

$$\bar{V}_f = \frac{V_{1f} + V_{2f}}{2};$$

якщо  $H_f = H_{L2}$ , то  $P_{1f} = |H_{L1} - H_{L2}|$ ,  $P_{2f} = 0$  та  $\bar{V}_f = V_{2f}$ ;

Після оброблення даних за описаною вище методикою, отримуємо середньозважену градуовальну таблицю, яку можемо надалі використовувати як основну для порівняння. На діаграмі нижче ми візуально можемо оцінити різницю між раніше отриманими калібрувальними таблицями для порожнього та повного резервуарів з середньозваженою калібрувальною таблицею резервуару № 1, та резервуару № 2 (рис. 5).



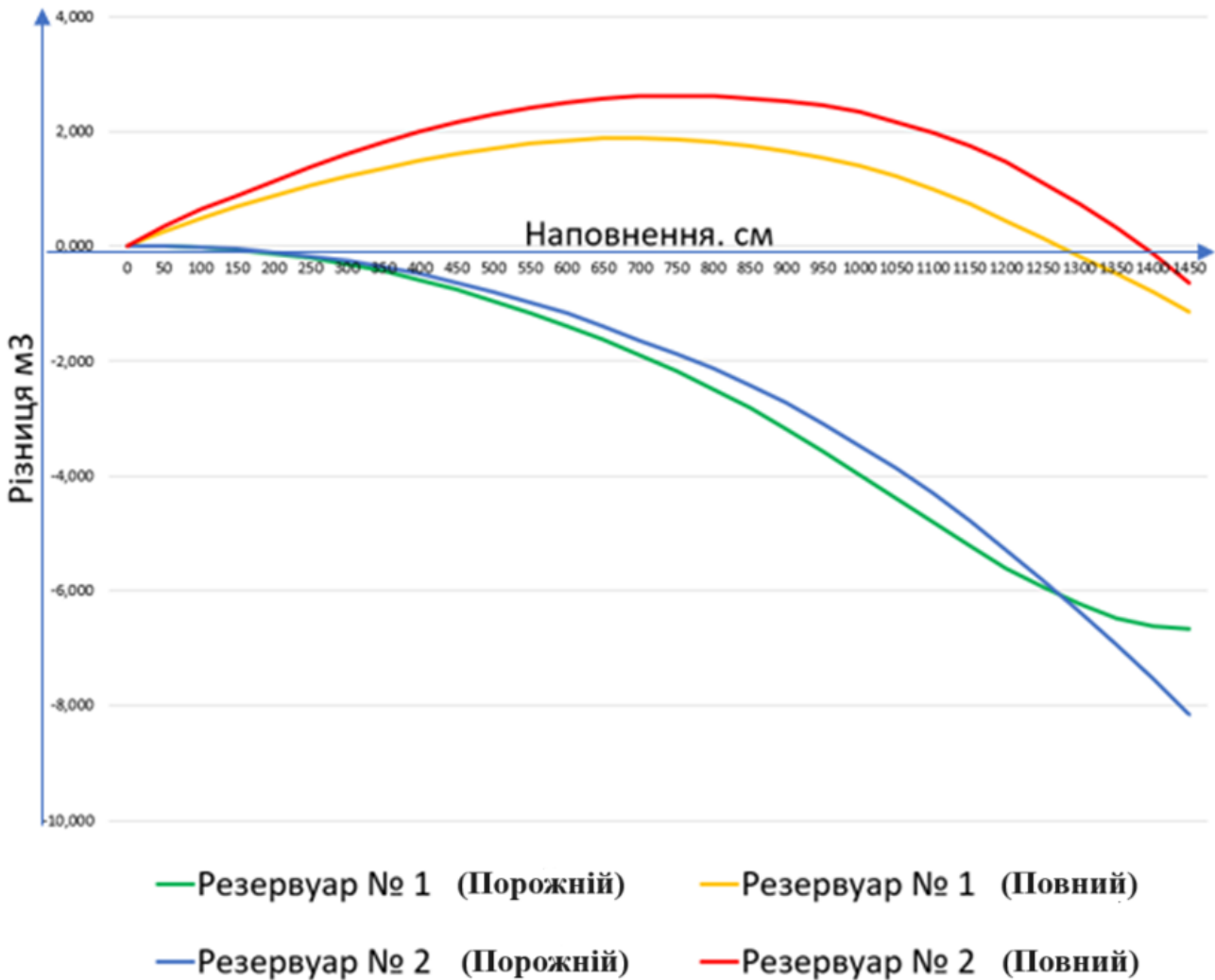


Рис. 5. Різниця між середньозваженими та стандартними калібрувальними таблицями

На цій діаграмі вісь  $X$  являє собою рівень наповнення резервуару в см, а вісь  $Y$  – це різниця об'ємів між градуювальними таблицями, отриманими з застосуванням стандартних підходів [1, 2] та середньозваженою таблицею в м<sup>3</sup>.

**Висновки.** На основі отриманих даних доведено, що використання стандартних методів калібрування резервуарів, в певних випадках, не дає потрібної точності визначення їх місткості для ведення обліку нафти та нафтопродуктів. Виявлено, що за наявних внутрішніх напружень у вертикальних швах, місткість резервуару навпаки зменшилася після навантаження резервуару рідиною. Досягнута мета з визначення фактичних деформацій стінок резервуару під дією ваги наливої рідини за допомогою нової методики вимірювань. Розроблена середньозважена емпірична модель визначення місткості резервуару. Очікується, що використання середньозваженої емпіричної моделі значно підвищить точність обліку нафтопродуктів.

Дану методику необхідно використовувати для резервуарів, проблеми в роботі з якими було виявлено споживачами під час обліку нафтопродуктів, для введення в експлуатацію нових резервуарів, резервуарів після ремонту. Дана

методика особливо підходить для резервуарів, стінки яких зазнали пошкоджень в наслідок бойових дій і знаходяться в напруженому, деформованому стані. Застосування даної методики для нових резервуарів та резервуарів після ремонту не буде потребувати великих додаткових фінансових витрат у зв'язку з тим, що такі резервуари обов'язково проходять процедуру гідравлічних випробувань для визначення їх герметичності. Отримана середньозважена емпірична модель поправок може використовуватись під час наступних калібруваннях.

#### Перелік посилань

1. *Метрологія. Резервуари сталеві вертикальні циліндричні. Методика повірки: ДСТУ 4147-2003*. (2003). Київ: Український науково-дослідний інститут стандартизації, сертифікації та інформатики. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=65365](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65365)
2. *Метрологія. Резервуари стаціонарні вимірювальні вертикальні. Методика повірки (калібрування) геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів: ДСТУ 7473:2016*. (2017). Київ: Державне підприємство Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів (Укрметртестстандарт). [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=66443](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=66443)
3. Fixed storage tanks. General requirements. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. OIML R 71 Edition 2008 (E). Bureau International de Métrologie Légale 11, rue Turgot – 75009 Paris – France.
4. ISO 7507-1:2003. Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method.
5. ISO 7507-2:2022. Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 2: Optical-reference-line method or electro-optical distance-ranging method.
6. Samoilenko, O., & Zaets, V. (2022). Calibration of Tanks and Ships' Tanks for Storage and Transportation of Liquids by Laser Scanning. *Applied Aspects of Modern Metrology*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.100565>
7. Samoilenko, O., Zaiets, V., Adamenko, O., Akolzin, I., & Glushko, Y. (2022). Application of proficiency testing scheme at determining the tank capacity on the results of laser 3D scanning. *Measurements Infrastructure*, 3. [https://doi.org/10.33955/v3\(2022\)-018](https://doi.org/10.33955/v3(2022)-018)
8. Samoylenko, O., & Zaets, V. (2015). Evaluation by least square method of geometrical parameters and capacity of all tank types by the results of laser scanning. *Paris. OIML Bulletin*. LVI(3), 14–21.
9. Measuring systems for the mass of liquids in tanks. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. OIML R 125 Edition 1998 (E). Bureau International de Métrologie Légale 11, rue Turgot – 75009 Paris – France.
10. Vessels for commercial transactions. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. OIML R 138 Edition 2007 (E). Bureau International de Métrologie Légale 11, rue Turgot – 75009 Paris – France.

#### ABSTRACT

**Purpose.** Improving the accuracy of oil and petroleum product accounting by implementing a new measurement scheme using an electron-optical remote sensing method using a laser 3D scanner.

**Research methodology.** To achieve the set goal, the following research methods were used: empirical modeling - to determine the calibration characteristics of vertical cylindrical tanks (hereinafter referred to as the tank) taking into account the actual wall deformations under the influence of the weight of the poured liquid; electron-optical remote measurement method – to calculate the weighted average calibration table by weighted averaging of the calibration tables of the empty and full tank.

**Research results.** Significant discrepancies were found between the actual deformations of the walls of vertical steel tanks under the weight of the filled liquid and the theoretical models for accounting these deformations, as specified in the regulatory documentation used for their calibration. A weighted empirical model was proposed, which addresses this issue by averaging the calibration tables of the full and empty tank.

**Originality.** For the first time, a highly accurate determination of the actual deformations of the walls of vertical cylindrical tanks under the weight of the filled liquid was performed using a laser 3D scanner. This allowed the creation of a weighted empirical model, which was used to calculate a weighted calibration table, significantly improving the accuracy of oil and petroleum product accounting.

**Practical implications.** The obtained weighted calibration table, which takes into account the actual deformations of the tank walls under the weight of the filled liquid, will significantly improve accounting accuracy. This will also allow achieving the required accuracy of oil and petroleum product accounting in tanks whose deformations do not correspond to the theoretical model used in the regulatory documentation for their calibration.

**Keywords:** *interval capacity, weighted empirical model, calibration, electronic-optical distance measurement method, scanning, tank wall deformations.*