

ІНФОРМАЦІЙНІ ПРОГРАМИ ТА КОМП'ЮТЕРНО- ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.642

DOI: 10.31471/1993-9965-2022-2(53)-47-53

АВТОМАТИЗОВАНЕ РОЗРОБЛЕННЯ ГРАДУЮВАЛЬНОЇ ТАБЛИЦІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ РЕЗЕРВУАРІВ

В. В. Михайлюк, Г. Я. Процюк, А. Р. Юрич, Л. Р. Юрич, М. В. Бабець, Р. Б. Стецюк

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. +38 097 8984786,
e-mail: myhajlyukv@ukr.net

Для зберігання та транспортування рідин і газів зазвичай використовують різноманітні за конструкцією резервуари. Ці резервуари можуть бути як стаціонарними, так і змонтованими на шасі автомобільного чи залізничного транспорту. На стадії проектування резервуарів визначають залежність об'єму рідини чи газу від його рівня. Для цього зазвичай використовують аналітичний метод. Проте цей метод важко застосовувати для резервуарів, розміщених під кутом відносно горизонталі та за наявності у резервуарі різноманітного технологічного обладнання, об'єми якого також необхідно враховувати. Сьогодні, коли високого розвитку набули різноманітні системи автоматизованого проектування, визначити рівень рідини в резервуарі на стадії його проектування стає набагато простіше. При використанні, наприклад, програми SolidWorks можна не тільки визначити об'єм, що займає рідина у резервуарі із врахуванням різноманітного технологічного обладнання, а й автоматизувати процес побудови градуювальної таблиці. Програма також дає змогу визначити об'єми рідин, що знаходяться у резервуарі та мають різні густини. У статті наведено алгоритм визначення об'єму рідини, розміщеної у резервуарі зі встановленим всередині умовним технологічним обладнанням та подано підхід до автоматизації побудови градуювальної таблиці за допомогою прикладного модуля Simulation програми SolidWorks. Для визначення розміру можливих похибок розраховано об'єм рідини у резервуарі геометричним об'ємом 10 м^3 (зовнішнім діаметром 1600 мм та довжиною 5321 мм) для випадку горизонтального розміщення та під нахилом у 2° . Встановлено, що різниця між визначеними об'ємами при висоті рідини 600 мм від найнижчої точки резервуара складає $0,6 \text{ м}^3$.

Ключові слова: резервуар, калібрування, градуювальна таблиця, система автоматизованого проектування, рідина, газ

Tanks of various types are commonly used for the storage and transportation of liquids and gasses. These tanks can be either stationary or mounted on the chassis of a road or rail vehicle. In the design phase, the dependence of the volume of a liquid or gas on its level is determined. This is usually done using an analytical method. However, this method is difficult to apply to tanks that are placed at an angle to the horizontal and to a variety of process equipment in the tank whose volume must also be taken into account. Today, when various computer-aided design systems are highly developed, it is much easier to determine the liquid level in a tank at the design stage. For example, if you use the SolidWorks program, you can not only determine the volume occupied by the liquid in the tank, taking into account various technological equipment, but also automate the process of creating a division plan. The program can also be used to determine the volumes of liquids in the tank with different densities. In this article, an algorithm for determining the volume of a liquid in a tank with conditional technological equipment is presented, as well as an approach to automating the creation of a calibration table using the Simulation application module of the SolidWorks program. In order to determine the size of possible errors, the volume of liquid in a tank

with a geometric volume of 10 m^3 (outer diameter of 1600 mm and length of 5321 mm) was calculated for the case of horizontal placement and at an inclination of 2° . It is found that the difference between the determined volumes at a liquid height of 600 mm from the lowest point of the tank is 0.6 m^3 .

Keywords: tank, calibration, calibration table, computer-aided design system, liquid, gas

Вступ

Рідини та гази великих об'ємів зазвичай зберігають у стаціонарних резервуарах, а для тимчасового зберігання та транспортування застосовують резервуари, змонтовані на шасі автомобільного чи залізничного транспорту. Резервуари – герметично закриті посудини, що наповнюються рідкою або газоподібною речовиною. За типом розташування резервуари прийнято поділяти на надземні та підземні, вертикальні та горизонтальні.

Однією із задач при експлуатації резервуарів є встановлення фактичної кількості продукції, що в них знаходиться. Така інформація необхідна для фінансової звітності, а також для отримання оперативної інформації про наявність продукту чи об'єму продажу за певний період. Подібна інформація широко використовується для керування виробничим процесом – автоматизації вимірювання та регулювання рівня, сигналізації. Частка таких вимірювань зазвичай складає 5-10 % від усіх вимірів. За рівнем рідини в резервуарах можна визначити її масу.

Аналіз закордонних та вітчизняних досліджень і публікацій

Загальний вигляд горизонтального резервуару показано на рис. 1. Геометричні розміри та деталі, з яких виготовляють резервуари, регламентуються відповідними нормативними документами [1, 2].



Рисунок 1 – Типова конструкція резервуару

Проблему підвищення точності обліку нафти та нафтопродуктів важко переоцінити. Од-

ним із шляхів вирішення цієї проблеми є створення автоматизованих систем контролю й обліку кількості нафти та нафтопродуктів на стаціонарних вимірювальних резервуарах (систем). Найважливішим питанням забезпечення надійної експлуатації таких систем є розроблення дієвих методів вимірювань у процесах оцінювання їх відповідності та калібрування в експлуатації, а також методів опрацювання результатів цих вимірювань. Складність організації процесу вимірювань під час калібрування полягає в тому, що їх необхідно виконати без демонтажу приладів, що входять до системи, на резервуарі за реальних умов їх експлуатації [3].

На резервуарах встановлюють прилади для вимірювання рівня, що поділяються [4-6]: за видом вимірювальної речовини, за призначенням, за принципом дії.

Залежно від конструкції рівнеміри можуть мати шкальні і безшкальні датчики, що працюють із самописними і регулюючими вторинними приладами. За допомогою таких приладів здійснюється автоматичний контроль і регулювання рівня рідин, а також звукова і світлова сигналізації підвищення або зниження рівня контрольованого середовища. Сьогодні відомо більше десяти методів, на основі яких можуть бути побудовані рівнеміри. Використання більшості з них потребує побудови калібрувальної таблиці резервуара – відповідності висоти рівня речовини в резервуарі її об'єму.

Перше калібрування резервуару відбувається до введення його у експлуатацію. Для цього спочатку будують першу градуювальну таблицю. У кожній градуювальній таблиці вказано термін дії, після якого необхідно повторно проводити вимірювання. Резервуари, що використовуються для зберігання нафтопродуктів чи зрідженого вуглеводневого газу, повинні періодично проходити перевірку оскільки з часом їх об'єм змінюється (наприклад, внаслідок відкладів на дні, корозії, деформації стінок тощо). Все це призводить до зниження точності вимірювання об'єму рідини у резервуарі. Такі фактори, як ремонтні роботи або механічні пошкодження, впливають на місткість резервуару, тому дані в таблиці градуювання часто стають неактуальними ще до закінчення терміну дії, тому необхідно знову проводити калібрування.

Градування ємностей для зберігання нафтопродуктів та скраплених вуглеводневих газів у відповідності до ДСТУ 4147-2003 (ГОСТ 8.570-2000) та ДСТУ 4218:2003 (ГОСТ 8.346-2000) проводиться:

- перед введення в експлуатацію резервуару;
- раз на п'ять років після закінчення терміну дії градувальної таблиці;
- після очищення резервуару;
- після планового та позапланового ремонту резервуару;
- при зміні виду рідини у резервуарі.

Резервуари можна перевіряти трьома методами:

- геометричним;
- об'ємним;
- 3D-скануванням.

Геометричний метод застосовують для одностінних наземних конструкцій. У процесі робіт внутрішній простір резервуара повністю вимірюється і визначаються геометричні параметри сховища: коло, висота, товщина, кут нахилу, вимірювання опуклостей і западин. У випадку застосування геометричного методу вимірювання проводяться звичайними інструментами: рулетками, нівелірами, рівнями, а також різними електронними та ультразвуковими приладами.

Об'ємний метод застосовують для резервуарів будь-яких конфігурацій із двостінною конструкцією чи підземних об'ємом до 5000 м³. Процес полягає у поступовому наповненні резервуару окремими дозами перевіркою рідини з одночасним вимірюванням її рівня та температури. При цьому враховується температура перевіркою рідини, температура повітря і навіть погодні умови. Перевірочною рідиною є вода. При визначенні об'ємним методом використовуються лічильники рідин, манометри, термометри та інша апаратура.

3D-сканування резервуара проводять за допомогою високоточного сканера і результатами вимірювання не тільки складають таблицю градування, але і будують тривимірне зображення резервуара. Цей метод є найточнішим, але вимагає використання високоякісного обладнання [7].

На вибір методу калібрування впливають кілька основних факторів:

- економічна доцільність;
- вид та об'єм резервуара;
- наявність у підрядника необхідної апаратури.

Зважаючи на те, що при проектуванні конструкцій резервуарів широко використовуються автоматизовані системи, вартим уваги є

вивчення можливості складання градувальних таблиць з їх використанням.

Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

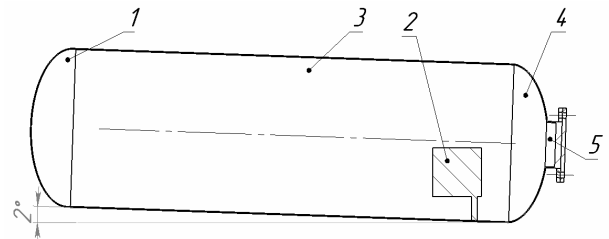
Метою роботи є оцінка можливості та реалізація побудови градувальної таблиці горизонтальних резервуарів за допомогою САД програми SolidWorks на етапі їх проектування.

Викладення основного матеріалу

Визначити залежність об'єму рідини у резервуарі від її висоти можна аналітично, використавши відповідні формули. Також для цього можна скористатися стандартами на днища (наприклад, ГОСТ 6533-78, DIN 28011 та інші), у яких, зазвичай, вказані об'єми днищ для кожного типорозміру. Варта зауважити, що об'єми днищ, виконаних відповідно до різних стандартів, відрізняються. Проте, під час визначення об'єму резервуару необхідно враховувати його розміщення відносно горизонталі. Зазвичай, при встановленні резервуарів забезпечують їх нахил на кут 2-3° у бік зливної патрубка. Труднощі для визначення об'єму резервуару аналітичним способом створюють встановлені всередині нього внутрішні елементи, наприклад, рівнемір, теплообмінник, перегородки, трубопроводи тощо.

Для визначення залежності об'єму рідини у резервуарі від її висоти на стадії його розроблення з врахуванням як кута його нахилу під час встановлення, так і об'єму розміщених у ньому елементів, об'єму люка-лаза та подальшої побудови градувальної таблиці пропонується застосувати САД програму SolidWorks.

На рисунку 2 наведено схему резервуара з вказанням внутрішніх елементів, об'єми яких будуть враховані під час побудови градувальної таблиці.



1, 4 – еліптичне днище; 2 – внутрішні елементи; 3 – корпус; 5 – люк-лаз

Рисунок 2 – Схема резервуара

На рисунку 3 показано тривимірну модель резервуара.

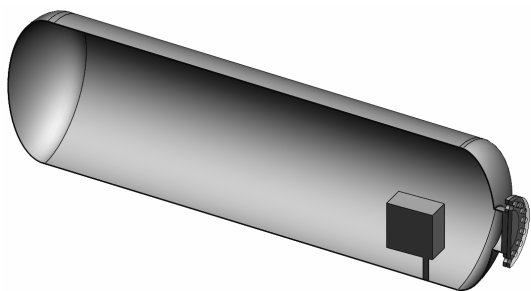


Рисунок 3 – Тривимірна модель резервуара

Для імітування об'єму, що займає рідина, у тривимірній моделі резервуара, спочатку необхідно створити ескіз (сегмент) та вказати його висоту. Ескіз потрібно створювати на площині, що перетинає найнижчу точку резервуару (рис. 4). Об'єм рідини буде розміщений в моделі резервуара як окрема твердотільна деталь (рис. 5).

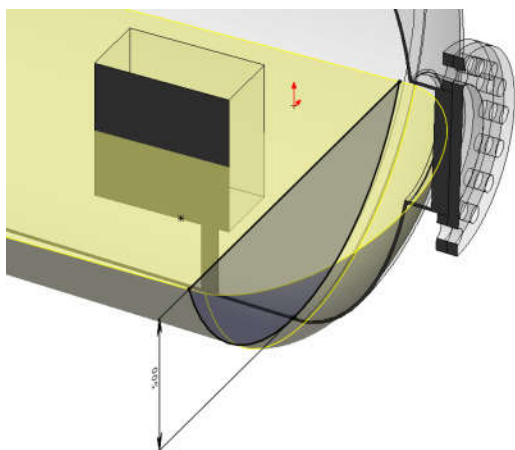


Рисунок 4 – Ескіз на площині, на площині, що перетинає найнижчу точку резервуару



Рисунок 5 – Тривимірна модель резервуару із розміщеною всередині рідиною та внутрішніми елементами, об'єм яких ще не врахований з об'єму рідини

Щоб отримати «чистий» об'єм рідини, об'єми внутрішніх елементів обладнання, занурених у неї, слід «вирізати» із загального об'єму рідини. Для цього слід скористатися інструментом програми SolidWorks – «порожнина» (рис. 6).

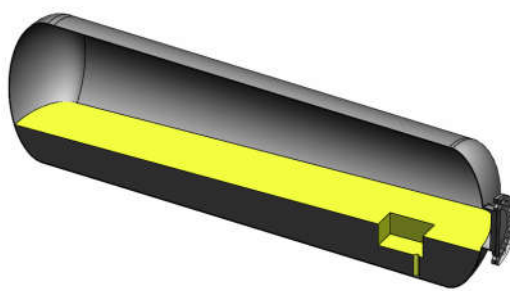


Рисунок 6 – Тривимірна модель резервуару із розміщеною всередині рідиною із врахуванням з неї об'ємом внутрішніх елементів

Для визначення об'єму рідини у резервуарі слід скористатися інструментом «масові характеристики», що розміщений на панелі «Аналізувати» програми SolidWorks. Для отримання значення маси рідини попередньо необхідно вказати її властивості. Для визначення об'єму рідини її властивості можна не задавати. Скориставшись інструментом «масові характеристики», отримаємо значення об'єму, що займає рідина у резервуарі, площу поверхні, центр тяжіння, основні осі та основні моменти інерції тощо.

За допомогою описаного алгоритму можна визначати залежність між висотою рідини у резервуарі та її об'ємом та будувати градувальну таблицю. Для цього необхідно по чергову змінювати висоту ескізу з необхідним кроком, що описує поперечний переріз рідини. Цей процес займатиме досить багато часу. З метою автоматизації побудови градувальної таблиці можна скористатися модулем Simulation програми SolidWorks, у якому присутній інструмент «Дослідження проектування».

За допомогою інструменту «дослідження проектування» можна:

- визначати кілька змінних, використовуючи будь-який параметр моделювання, або глобальні змінні, якими можна керувати;
- визначати та встановлювати числові обмеження з використанням датчиків;
- визначати цілі з використанням датчиків;
- аналізувати моделі без результатів моделювання. Наприклад, можна звести до мінімуму масу виробу, використовуючи як змінні густину матеріалу і розміри моделі, а як обмеження – об'єм.

Отже, для того, щоб скористатися інструментом «Дослідження проектування» необхідно спочатку його запустити. Після натискання відповідної кнопки в модулі Simulation на екрані відобразиться таблиця з випаданим списком, яку необхідно заповнити: увести змінні, обмеження та цілі.

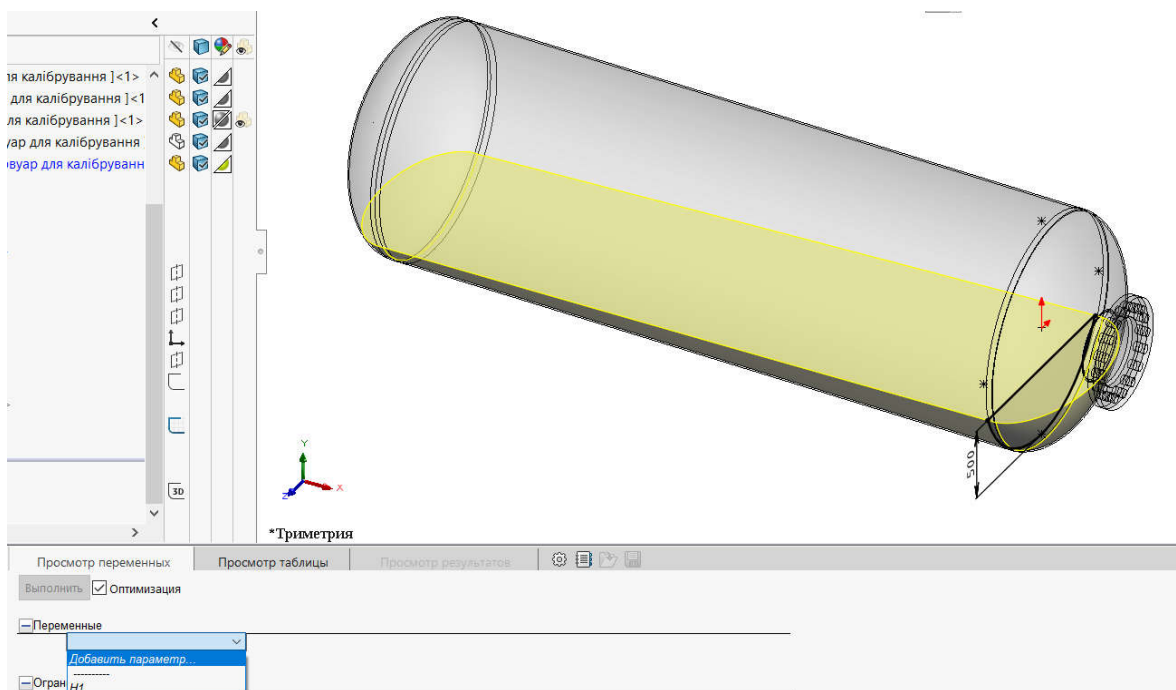


Рисунок 7 – Вибір змінних параметрів

Имя	Категория	Значение	Единицы	Заметка	Связанный
	Размер модели		N/A		

Рисунок 8 – Таблица налаштувань параметру

Имя	Категория	Значение	Единицы	Заметка	Связанный
h1	Размер модели	500	mm		*

Рисунок 9 – Заповнена таблиця налаштувань параметру

У дослідженні змінною буде висота рідини у резервуарі. Для того, щоб її додати до таблиці, необхідно спочатку перейти у режим редагування ескізу, що описує поперечний переріз рідини та з випадуючого меню таблиці «змінні» вибрати «дати параметр» (рис. 7).

На екрані з'явиться таблиця налаштувань параметру (рис. 8).

Вибравши розмір на ескізі (у нашому випадку 500), слід вказати його ім'я (рис. 9) і натиснути кнопку ОК.

Щоб задати діапазон та крок висоти рівня рідини у резервуарі, слід занести їх значення у таблицю, зображену на рисунку 10. У нашому випадку мінімальне значення рівня рідини складає 50 мм, максимальне 600 мм та крок – 50 мм.

Наступним етапом є вибір цілі – об'єму, що займає рідина у резервуарі. Для вибору цілі

необхідно спочатку створити відповідний датчик, активувавши його на панелі інструментів SolidWorks. Відтак вибрати у меню «тип датчика» – «масові характеристики», а у меню «власності» – «об'єм» (рис. 11). Також необхідно вказати об'єкти для контролю (в нашому випадку об'єм рідини).

Далі вибрати створений датчик як ціль у інструменті «дослідженні проектування» (рис. 12).

Також у інструменті «дослідження проектування» можна переглянути сценарії проектування (рис. 13).

Після завершення процесу розрахунку програма видасть таблицю, в якій буде відображено залежність об'єму рідини у резервуарі від її рівня (рис. 14).

Для визначення різниці об'ємів рідини у резервуарі (з найнижчої точки) при її рівні, що

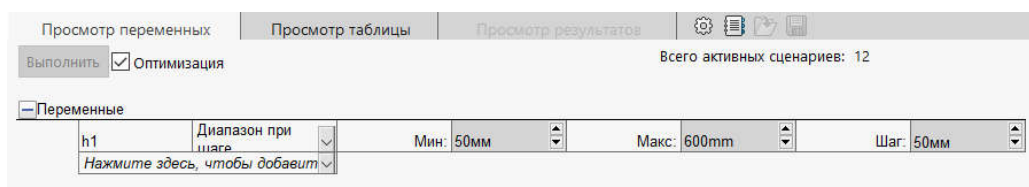


Рисунок 10 – Задання значень змінних параметрів

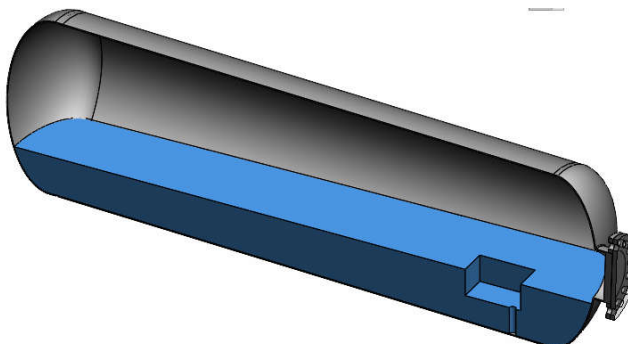
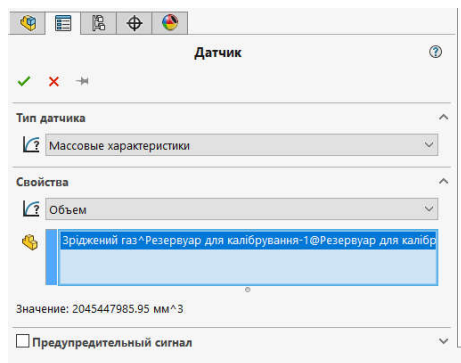


Рисунок 11 – Налаштування датчика

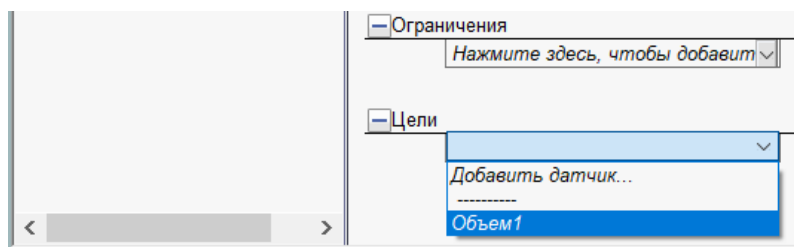


Рисунок 12 – Вибір цілі

Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4	Сценарий 5	Сценарий 6	Сценарий 7	Сценарий 8	Сценарий 9	Сценарий 10	Сценарий 11	Сценарий 12
50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm	400mm	450mm	500mm	550mm	600mm

Рисунок 13 – Сценарії проєктування

	Текущая	Начальная	Оптимальная (1)	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4	Сценарий 5	Сценарий 6	Сценарий 7	Сценарий 8	Сценарий 9	Сценарий 10	Сценарий 11	Сценарий 12	
h1	500mm	500mm	50mm	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm	400mm	450mm	500mm	550mm	600mm	
Объем1	Минимизировать	2.04545	2.04545	0.0125776	0.0125776	0.0671643	0.179824	0.355636	0.576959	0.822178	1.09491	1.39194	1.70974	2.04545	2.39643	2.76082

Рисунок 14 – Залежність об'єму рідини у резервуарі від її рівня

становить 600 мм, за горизонтального розміщення та розміщення резервуару під кутом 2^0 було проведено імітаційні дослідження за наведеним вище алгоритмом. Об'єм рідини у резервуарі, що розміщений горизонтально, становить $3,36 \text{ м}^3$, а у резервуарі, що розміщений під кутом 2^0 , – $2,76 \text{ м}^3$. Різниця об'ємів становить $0,6 \text{ м}^3$.

Висновки

На етапі проєктування резервуарів запропонований у статті алгоритм визначення об'єму наповнюючої рідини за допомогою CAD-

системи дає можливість врахувати об'єми внутрішніх елементів, що розміщені у ньому, кут нахилу при встановленні тощо. Описаний алгоритм автоматизації визначення об'єму рідини у резервуарі прискорює побудову калібрувальної таблиці. Встановлено, що неправильне заповнення градувальної таблиці призводить до значних похибок у визначенні об'єму, що займає рідина у резервуарі. Показано, що у двох однакових за конструкцією резервуарах, один з яких встановлений горизонтально, а інший під кутом 2^0 , різниця об'ємів рідин складає $0,6 \text{ м}^3$ при рівні 600 мм (з найнижчої точки).

Література

References

1. ДСТУ-ЗТ Б В.2.6-103:2010. Настанова. Резервуари сталеві горизонтальні для нафтопродуктів. Конструкції і розміри.
2. ДСТУ Б В.2.6-183:2011 «Резервуари вертикальні циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів. Загальні технічні умови» (ГОСТ 31385-2008, NEQ)
3. Самойленко О. Калібрування комбінованих, встановлених на резервуарах систем для вимірювань маси рідин. *Метрологія та прилади*. 2017. № 6. С. 3-9. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mettpr_2017_6_3
4. William B. Instrumentation and control systems. Burlington: 30 Corporate Drive, Suite 400, 2004. 352 с.
5. Engineers Garage (Level Sensors). 18 September 2012. URL: <https://www.engineersgarage.com/level-sensors/>
6. Справочное руководство инженера по измерению уровня URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/brochure-metran-ru-ru-4721450.pdf>
7. Сайт компанії «Метрогарант». URL: https://www.metrogarant.com.ua/kalibrovka-rezervuarov?gclid=Cj0KCQjw4omaBhDqARIsADXULuWZFqSC4dKf0B-Fo9xXku0FGkqZ8SCRXitcgMRx3p6RV-8ffxpkuXEaAk99EALw_wcB

1. DSTU-3T B V.2.6-103:2010. Nastanova. Rezervuary stalevi horyzontalni dlia naftoproduktiv. Konstruktsii i rozmiry. [in Ukrainian]
2. DSTU B V.2.6-183:2011 «Rezervuary vertykalni tsylindrychni stalevi dlia nafty ta naftoproduktiv. Zahalni tekhnichni umovy» (HOST 31385-2008, NEQ) [in Ukrainian]
3. Samoilenko O. Kalibruvannia kombinovanykh, vstanovlenykh na rezervuarakh system dlia vymiriuvan masy ridyn. *Metrolohiia ta prylady*. 2017. Vol. 6. P. 3-9. [in Ukrainian] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mettpr_2017_6_3
4. William B. Instrumentation and control systems. Burlington: 30 Corporate Drive, Suite 400, 2004. 352 p.
5. Engineers Garage (Level Sensors). 18 September 2012. URL: <https://www.engineersgarage.com/level-sensors/>
6. Spravochnoe rukovodstvo ynzhenera po yzmerenyiu urovnia. [in Russian] URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/brochure-metran-ru-ru-4721450.pdf>
7. Sait kompanii «Metroharant». [in Ukrainian] URL: https://www.metrogarant.com.ua/kalibrovka-rezervuarov?gclid=Cj0KCQjw4omaBhDqARIsADXULuWZFqSC4dKf0B-Fo9xXku0FGkqZ8SCRXitcgMRx3p6RV-8ffxpkuXEaAk99EALw_wcB