

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПРОСКУРЕНКО ДЕНИС МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 681.518:006.91

ДИСЕРТАЦІЯ
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ
РЕЗЕРВУАРІВ СТАЛЕВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ
ГЕОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Шифр і назва спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Д.М. Проскуренко

Науковий керівник: Безуглий Михайло Олександрович доктор технічних наук,
професор

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

Проскурєнко Д.М. Автоматизована система для калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2026.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі підвищення точності та ефективності калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів шляхом розроблення автоматизованої програмно-апаратної системи, що базується на використанні тривимірного лазерного сканування та геометричного аналізу просторових даних. Необхідність виконання таких досліджень обумовлена зростанням вимог до точності обліку рідких продуктів у нафтогазовій, хімічній, енергетичній та транспортно-логістичній галузях, де навіть незначні похибки у визначенні місткості резервуарів можуть призводити до суттєвих економічних втрат, викривлення результатів комерційного обліку та зниження достовірності метрологічного забезпечення.

Існуючі методи калібрування, зокрема об'ємний та геометричний, мають ряд обмежень, пов'язаних із трудомісткістю, недостатнім рівнем автоматизації, а також спрощеним урахуванням геометрії резервуара, що, як правило, розглядається як ідеалізована. У реальних умовах експлуатації резервуари зазнають деформацій, мають технологічні відхилення форми, локальні нерівності та інші фактори, які впливають на точність визначення їх місткості. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває застосування

методів, що дозволяють враховувати фактичну геометрію об'єкта на основі високоточного 3D-сканування.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення точності калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів шляхом удосконалення геометричного методу на основі використання 3D-хмари точок та створення автоматизованої системи, яка забезпечує повний цикл оброблення даних — від сканування до формування поміліметрової градувальної таблиці.

Для досягнення поставленої мети у роботі виконано комплекс взаємопов'язаних теоретичних та експериментальних досліджень. **У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено методи та засоби, що використовуються в роботі, розкрито наукову новизну, практичне значення та особистий внесок здобувача.

У першому розділі проведено системний аналіз існуючих методів калібрування резервуарів, включаючи об'ємні, геометричні та комбіновані підходи. Розглянуто нормативно-методичне забезпечення процесів калібрування та сучасні технічні засоби їх реалізації. Особливу увагу приділено аналізу обмежень традиційних методів у контексті автоматизації та врахування реальної геометрії поверхні резервуарів. Встановлено, що існуючі підходи не забезпечують достатньої інтеграції процесів збору, оброблення та аналізу даних, а також не містять ефективних засобів оцінювання якості отриманих 3D-даних. На основі проведеного аналізу сформульовано постановку задачі дослідження, яка полягає у створенні автоматизованої системи калібрування з урахуванням фактичної геометрії резервуара та адаптивного керування процесом сканування.

У другому розділі розроблено структуру автоматизованої системи калібрування резервуарів геометричним методом, яка включає підсистеми збору даних, оцінювання якості 3D-хмари точок, керування положенням сканера, оброблення просторових даних та формування результатів

калібрування. Запропоновано аналітичну модель функціонування системи, що описує взаємозв'язки між її складовими та визначає логіку прийняття рішень щодо адаптивного переміщення 3D-сканера у вертикальній площині.

Розроблено метод оцінювання якості 3D-хмари точок, який базується на аналізі таких характеристик, як щільність розподілу точок, рівень шуму, повнота покриття поверхні та наявність викидів. На основі цих показників реалізовано алгоритм прийняття рішень щодо необхідності повторного сканування та визначення напрямку і величини переміщення сканера. Це дозволяє забезпечити адаптивне формування повної та репрезентативної моделі поверхні резервуара.

Запропоновано комбінований метод сегментації 3D-хмари точок, який поєднує використання ітераційного алгоритму RANSAC для виділення циліндричної частини резервуара та кластеризації методом DBSCAN для визначення днищ. Подальше уточнення меж сегментів здійснюється на основі аналізу нормалей та кривизни поверхні, що забезпечує підвищення точності виділення геометричних елементів. На основі сегментованих даних розроблено математичні моделі визначення геометричних параметрів циліндричної частини та днищ резервуара з урахуванням їх реальної форми.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень розробленої системи. Проведено апробацію алгоритмів оцінювання якості 3D-хмари точок та адаптивного керування положенням сканера, що підтвердило їх ефективність у забезпеченні повноти покриття поверхні резервуара та зменшенні кількості повторних сканувань. Виконано дослідження точності комбінованого методу сегментації, за результатами якого встановлено зменшення похибки визначення геометричних параметрів до рівня 2–3 %.

Окрему увагу приділено оцінюванню точності формування градувальних таблиць. Показано, що врахування фактичної геометрії резервуара дозволяє підвищити точність визначення місткості порівняно з традиційними методами, які базуються на ідеалізованих геометричних

моделях. Проведено аналіз впливу шуму вимірювань, нерівномірності розподілу точок та деформацій конструкції на результати калібрування.

У четвертому розділі описано реалізацію програмно-апаратної частини автоматизованої системи. Обґрунтовано вибір 3D-лазерного сканера промислового класу, який забезпечує високу точність і щільність вимірювань. Розроблено механічну систему переміщення сканера у вертикальній площині, що дозволяє реалізувати адаптивну зміну його положення відповідно до результатів оцінювання якості сканування. Система керування побудована на основі мікроконтролерної платформи з використанням електромеханічних приводів, що забезпечують необхідну точність позиціонування.

Розроблено програмне забезпечення «Автоматизований розрахунок градуовальної таблиці», яке реалізує повний цикл оброблення даних: завантаження 3D-хмари точок, її попередню фільтрацію, сегментацію, визначення геометричних параметрів, розрахунок об'ємів наповнення та формування поміліметрової градуовальної таблиці. Програмний продукт забезпечує автоматичну генерацію результатів у вигляді електронних таблиць формату .xlsx та текстових звітів формату .docx, що відповідає вимогам практичного використання в метрологічній діяльності.

Узагальнення отриманих результатів показало, що розроблена автоматизована система забезпечує комплексне вирішення задачі калібрування резервуарів на основі інтеграції процесів вимірювання, оброблення та аналізу даних. Удосконалення геометричного методу за рахунок використання 3D-хмари точок дозволило врахувати реальну форму поверхні резервуара, що підвищило точність і достовірність визначення його місткості. Запропоновані методи оцінювання якості даних та адаптивного керування процесом сканування забезпечують підвищення ефективності отримання вихідної інформації та зменшення впливу людського фактору.

Розроблені алгоритмічні, програмні та технічні рішення мають практичну цінність і можуть бути впроваджені у діяльність підприємств паливно-енергетичного комплексу, нафтобаз, хімічних виробництв та

метрологічних служб. Вони також створюють основу для подальшого розвитку інтелектуальних систем автоматизованого калібрування та цифрових технологій контролю геометричних параметрів промислових об'єктів.

Ключові слова: автоматизація, калібрування, резервуар, 3D-моделювання, тривимірна складна модель, закрита циліндрична оболонка, циліндрична оболонка, сканування, хмара точок, мультихмара, автоматизована система, інформаційні системи, вимірювання, контроль якості, система автоматичного управління, комп'ютерно-інтегровані технології.

ABSTRACT

Proskurenko D.M. **Automated System for Calibration of Horizontal Steel Cylindrical Tanks by the Geometric Method** – Qualification Scientific Work as a Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Field of Knowledge 15 – Automation and Instrumentation, Specialty 151 – Automation and Computer-Integrated Technologies. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, 2026.

The dissertation is devoted to solving a relevant scientific and applied problem of improving the accuracy and efficiency of calibration of horizontal cylindrical steel tanks through the development of an automated hardware–software system based on three-dimensional laser scanning and geometric analysis of spatial data. The necessity of such research is обусловлена the increasing requirements for the accuracy of liquid accounting in the oil and gas, chemical, energy, and transport-logistics industries, where even minor errors in determining tank capacity may lead to significant economic losses, distortion of commercial accounting results, and reduced reliability of metrological support.

Existing calibration methods, in particular volumetric and geometric ones, have a number of limitations related to high labor intensity, insufficient level of automation, and simplified consideration of tank geometry, which is usually assumed to be idealized. Under real operating conditions, tanks are subject to deformations, manufacturing deviations, local irregularities, and other factors that affect the accuracy of capacity determination. In this regard, the application of methods that allow taking into account the actual geometry of the object based on high-precision 3D scanning becomes especially relevant.

The aim of the dissertation research is to improve the accuracy of calibration of horizontal cylindrical steel tanks by enhancing the geometric method based on

the use of a 3D point cloud and developing an automated system that provides a full data processing cycle—from scanning to the generation of a millimeter-resolution calibration table.

To achieve this goal, a set of interrelated theoretical and experimental studies has been carried out. **The introduction** substantiates the relevance of the topic, formulates the goal and objectives of the research, defines the object and subject of the study, describes the methods and tools used, and presents the scientific novelty, practical significance, and the author's contribution.

The first chapter provides a systematic analysis of existing tank calibration methods, including volumetric, geometric, and combined approaches. The regulatory and methodological framework for calibration processes and modern technical means of their implementation are considered. Particular attention is paid to the limitations of traditional methods in terms of automation and accounting for the actual geometry of tank surfaces. It is established that existing approaches do not ensure sufficient integration of data acquisition, processing, and analysis, and also lack effective tools for assessing the quality of 3D data. Based on the analysis, the research problem is formulated, which consists in developing an automated calibration system that accounts for the actual tank geometry and provides adaptive control of the scanning process.

The second chapter presents the developed structure of the automated tank calibration system based on the geometric method, which includes subsystems for data acquisition, 3D point cloud quality assessment, scanner position control, spatial data processing, and calibration result generation. An analytical model of the system operation is proposed, describing the relationships between its components and defining the decision-making logic for adaptive vertical positioning of the 3D scanner.

A method for assessing the quality of the 3D point cloud has been developed, based on the analysis of parameters such as point density, noise level, surface coverage completeness, and the presence of outliers. Based on these indicators, a decision-making algorithm is implemented to determine the necessity of re-scanning

and to define the direction and magnitude of scanner displacement. This ensures adaptive formation of a complete and representative model of the tank surface.

A combined method for 3D point cloud segmentation is proposed, which integrates the iterative RANSAC algorithm for extracting the cylindrical part of the tank and DBSCAN clustering for identifying the end caps. Further refinement of segment boundaries is performed based on the analysis of surface normals and curvature, which improves the accuracy of geometric feature extraction. Based on the segmented data, mathematical models are developed for determining the geometric parameters of the cylindrical part and end caps, taking into account their actual shape.

The third chapter presents the results of experimental studies of the developed system. The algorithms for 3D point cloud quality assessment and adaptive scanner positioning have been validated, confirming their effectiveness in ensuring complete surface coverage and reducing the number of repeated scans. The accuracy of the combined segmentation method has been investigated, showing a reduction in the error of geometric parameter determination to 2–3%.

Special attention is paid to evaluating the accuracy of calibration table generation. It is shown that accounting for the actual tank geometry improves the accuracy of capacity determination compared to traditional methods based on idealized geometric models. An analysis of the influence of measurement noise, non-uniform point distribution, and structural deformations on calibration results is carried out.

The fourth chapter describes the implementation of the hardware–software part of the automated system. The choice of an industrial-grade 3D laser scanner providing high accuracy and point density is substantiated. A mechanical system for vertical movement of the scanner is developed, enabling adaptive adjustment of its position based on the quality assessment results. The control system is implemented using a microcontroller platform with electromechanical drives that ensure the required positioning accuracy.

The software «Automated Calibration Table Calculation» has been developed, implementing the full data processing cycle: loading the 3D point cloud, preprocessing, segmentation, determination of geometric parameters, calculation of filling volumes, and generation of a millimeter-resolution calibration table. The software automatically generates results in .xlsx format and reports in .docx format, which meets the requirements of practical application in metrological activities.

The obtained results demonstrate that the developed automated system provides a comprehensive solution to the problem of tank calibration through the integration of measurement, data processing, and analysis processes. The improvement of the geometric method through the use of a 3D point cloud makes it possible to account for the real surface shape of the tank, thereby increasing the accuracy and reliability of capacity determination. The proposed methods for data quality assessment and adaptive scanning control improve the efficiency of data acquisition and reduce the influence of the human factor.

The developed algorithmic, software, and hardware solutions have practical value and can be implemented in the activities of fuel and energy enterprises, oil depots, chemical industries, and metrological services. They also provide a basis for further development of intelligent automated calibration systems and digital technologies for monitoring the geometric parameters of industrial objects.

Keywords: automation, calibration, tank, 3D modeling, three-dimensional complex model, closed cylindrical shell, cylindrical shell, scanning, point cloud, multicloud, automated system, information systems, measurement, quality control, automatic control system, computer-integrated technologies.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Проскурєнко Д. М. Алгоритм визначення рівнів калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних // Погляд у майбутнє приладобудування : матеріали XVI Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених (Київ, 16–17 трав. 2023 р.). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 120–122.

2. Проскурєнко Д. М., Безуглий М. О. Алгоритмічне забезпечення калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом // Приладобудування: стан і перспективи : матеріали XXII Міжнар. наук.-техн. конф. (Київ, 16–17 трав. 2023 р.). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 93–95. (Особистий внесок здобувача: Створення алгоритмічного забезпечення калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом. Внесок співавторів: Безуглий М. О. – наукове керівництво, теоретичний супровід, редакційне доопрацювання рукопису.)

3. Proskurenko D., Bezuglyi M., Tretiak O., Filippova M. Review of calibration methods for cylindrical steel vertical oil storage tanks // Енергетика та автоматика. 2023. № 2. С. 96–104. (Особистий внесок здобувача: Огляд методів калібрування циліндричних сталевих вертикальних резервуарів для зберігання нафти. Внесок співавторів: Третяк О. В. – допомога в огляді існуючих методів; Безуглий М. О., Філіппова М. В. – наукове керівництво, теоретичний супровід, редакційне доопрацювання рукопису.)

4. Проскурєнко Д. М., Безуглий М. Структурна схема автоматизованої системи калібрування резервуарів // Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні : матеріали XIX Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених (Київ, 20–21 груд. 2023 р.). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 142–145. (Особистий внесок здобувача: Створення структурної схеми автоматизованої системи

калібрування резервуарів. Внесок співавторів: Безуглий М. О. – наукове керівництво, теоретичний супровід, редакційне доопрацювання рукопису.)

5. Проскурєнко Д. М., Третьяк О. В., Безуглий М. О., Філіппова М. В. Автоматизований розрахунок градуєвальної таблиці відповідно до ДСТУ 7475:2016 (ДСТУ 7475:2016, ДСТУ 7364:2016) : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 123611. Україна. Дата реєстрації 08.02.2024. 31 с.

6. Proskurenko D., Bezuglyi M. Integrated approach for 3D point cloud segmentation in tank calibration // Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування. 2025. Вип. 69(1). С. 75–81. (Особистий внесок здобувача: Створення інтегрованого підходу до сегментації 3D-хмари точок при калібруванні резервуарів. Внесок співавторів: Безуглий М. О. – наукове керівництво, теоретичний супровід, редакційне доопрацювання рукопису.)

7. Проскурєнко Д. М., Безуглий М. Програмна реалізація автоматизованої системи калібрування циліндричних резервуарів // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2025. Вип. 4. С. 400–406. (Особистий внесок здобувача: Створення програмної реалізації автоматизованої системи калібрування циліндричних резервуарів. Внесок співавторів: Безуглий М. О. – наукове керівництво, теоретичний супровід, редакційне доопрацювання рукопису.)

8. Proskurenko, D., & Bezuglyi, M. An automated system for calibration table calculation of cylindrical horizontal tanks // Informatyka, Automatyka, Pomiaru W Gospodarce I Ochronie Środowiska. 2026, 16(1), 29–34. <https://doi.org/10.35784/iapgos.7408> (Особистий внесок здобувача: Створення та тестування автоматизованої системи для калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом. Внесок співавторів: Безуглий М. О. – наукове керівництво, теоретичний супровід, редакційне доопрацювання рукопису.)

Зміст	
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	16
ВСТУП	17
Розділ 1. Аналітичні передумови розроблення автоматизованих систем контролю ємності резервуарів	24
1.1 Методи калібрування резервуарів паливно-енергетичної інфраструктури.....	25
1.2 Аналіз сучасних систем автоматизації, що використовується для реалізації калібрування резервуарів.....	33
1.3 Нормативне упорядкування автоматизованих методик повірки резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом	41
1.4 Постановка задачі дисертаційного дослідження	43
1.5 Висновки до розділу 1	45
Розділ 2. Розроблення автоматизованої системи для калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом.....	48
2.1 Структура та принцип функціонування автоматизованої системи калібрування горизонтальних сталевих резервуарів.....	49
2.1.1 Концепція технічного забезпечення автоматизованого калібрування резервуарів	49
2.1.2 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи для калібрування резервуарів	56
2.2 Розроблення аналітичної моделі системи керування процесом автоматизованого калібрування резервуарів сталевих	59
2.2.1 Обґрунтування вибору типу аналітичної моделі.....	59
2.2.2 Аналітичний опис моделі системи керування	60

2.2.3 Функціональна модель системи керування переміщенням 3D-сканера.....	62
2.3 Оцінка якості 3D-сканування для системи керування переміщень 3D-сканера.....	64
2.3.1 Показники якості 3D-хмари точок та формалізація критеріїв їх оцінки	65
2.3.2 Адаптивне переміщення 3D-сканера на основі оцінки якості 3D-хмари точок.....	68
2.4 Математичне моделювання геометричних параметрів резервуара	70
2.4.1 Сегментація хмари точок на частини	71
2.4.2 Обчислення геометричних параметрів циліндричної частини	75
2.4.3 Обчислення геометричних параметрів поверхонь днищ.....	78
2.4.4 Обробляння результатів вимірювання.....	81
2.5 Висновки до розділу 2	86
Розділ 3. Експериментальне дослідження автоматизованої системи калібрування резервуарів.....	90
3.1 Експериментальне дослідження системи автоматизованого керування	90
3.2 Експериментальна перевірка гібридного методу сегментації 3D-хмари точок резервуара	102
3.3 Результати формування калібрувальних таблиць резервуарів	110
Висновки до розділу 3	121
Розділ 4. Програмно-апаратна реалізація автоматизованої системи для калібрування резервуарів	123

4.1 Розроблення системи керування автоматизованим калібруванням резервуарів сталевих циліндричних геометричним методом	123
4.2 Алгоритмічне забезпечення функціонування програмно-апаратної системи	126
4.2.1 Алгоритм автоматизованої оцінки якості 3D-хмари точок	126
4.2.2 Алгоритм адаптивного переміщення 3D-сканера	129
4.2.3 Алгоритм сегментації 3D хмари точок	131
4.2.4 Алгоритм розрахунку об'єму горизонтального сталевого резервуара	134
4.3 Розроблення програмного забезпечення автоматизованої системи розрахунку калібрувальної таблиці.....	136
4.2.1 Технологічна та програмна основа розробки системи	136
4.2.2 Архітектура програмного забезпечення автоматизованої системи	140
4.2.3 Користувацький інтерфейс	143
4.3 Методика використання	152
Висновки до розділу 4	155
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	157
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	160
ДОДАТКИ.....	168
ДОДАТОК А.....	168
ДОДАТОК Б	223
ДОДАТОК В.....	287

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

RANSAC — Random Sample Consensus, ітераційний метод
апроксимації моделі

DBSCAN — Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise,
алгоритм кластеризації

3D — тривимірний

ПЗ — програмне забезпечення

АПС — автоматизована програмно-апаратна система

РПЗ — розроблене програмне забезпечення

ПЗП — програмне забезпечення підприємства

ВСТУП

Актуальність роботи. Калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів є ключовим елементом метрологічного забезпечення підприємств паливно-енергетичного комплексу, хімічної, нафтогазової, транспортної та інших галузей промисловості. Точність визначення місткості резервуарів безпосередньо впливає на достовірність обліку рідин, фінансові розрахунки, безпеку експлуатації та екологічні показники підприємств. Навіть незначні систематичні похибки у визначенні об'єму можуть призводити до суттєвих економічних втрат при великих обсягах зберігання продукції.

Методи калібрування, зокрема гідростатичні та гравіметричні, характеризуються значною трудомісткістю, матеріальними витратами та обмеженими можливостями врахування фактичних деформацій конструкції. Геометричний метод є більш універсальним, однак його класична реалізація базується на спрощених припущеннях щодо ідеальної форми резервуара та недостатньо враховує локальні відхилення поверхні, корозійні ушкодження та експлуатаційні деформації.

Сучасний розвиток технологій 3D-лазерного сканування відкриває можливості для отримання детальної просторової інформації про реальну геометрію резервуарів. Проте відсутність інтегрованих автоматизованих систем, які поєднують процес сканування, оцінку якості хмари точок, алгоритмічну сегментацію та розрахунок поміліметрової калібрувальної таблиці, обмежує потенціал використання цих технологій у метрологічній практиці.

У зв'язку з цим розроблення автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів із удосконаленням геометричного методу є актуальною науково-прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з науково-дослідними роботами факультету приладобудування та робототехніки Національного технічного університету

України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», а саме з «Комп'ютерно-інтегровані засоби для аналізу та обробки даних при автоматизованому проектуванні та детектуванні цільових об'єктів».

Метою роботи є підвищення точності калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів шляхом розроблення автоматизованої програмно-апаратної системи формування поміліметрової калібрувальної таблиці на основі оброблення та геометричного аналізу 3D-хмари точок, що отриманої за допомогою лазерного сканування резервуара.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні **завдання**:

1. Проаналізувати існуючі методи калібрування резервуарів та визначити їх обмеження щодо автоматизації та врахування реальної геометрії поверхні.
2. Розробити структурну та аналітичну модель автоматизованої системи калібрування горизонтальних сталевих резервуарів.
3. Сформувати модель автоматизованої оцінки якості 3D-хмари точок з урахуванням щільності розподілу, рівня шуму та повноти покриття поверхні.
4. Розробити комбінований метод сегментації 3D-хмари точок для виділення циліндричної частини та днищ резервуара.
5. Удосконалити геометричний метод розрахунку об'єму резервуара з урахуванням реальної форми поверхні.
6. Розробити методiku оцінки невизначеностей результатів калібрування з урахуванням шуму вимірювань, деформацій та похибок приладів.
7. Реалізувати програмно-апаратну систему автоматизованого калібрування та експериментально перевірити її працездатність.

Об'єкт дослідження – процеси автоматизованого калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів геометричним методом.

Предмет дослідження – автоматизована система для калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів із використанням адаптивного 3D-лазерного сканування та алгоритмічної обробки хмар точок.

Методи та засоби дослідження. У роботі використано методи математичного моделювання — для формалізації геометричної моделі резервуара та процесу його наповнення; методи аналітичної геометрії — для визначення параметрів циліндричної частини та днищ резервуара на основі просторових координат точок; методи чисельного аналізу — для реалізації алгоритмів апроксимації поверхонь, обчислення об’ємів наповнення та формування поміліметрової калібрувальної таблиці; теорію похибок та невизначеностей вимірювань — для оцінювання впливу шуму 3D-хмари точок, деформацій поверхні, нерівномірності просторового розподілу точок та інструментальних похибок на кінцевий результат калібрування; методи обробки 3D-хмар точок — для фільтрації шуму, визначення нормалей, оцінювання кривизни поверхні та аналізу просторової структури об’єкта; алгоритми сегментації та кластеризації просторових даних (RANSAC, DBSCAN та уточнення меж кластерів за геометричними ознаками) — для виділення циліндричної частини резервуара та його днищ з подальшим окремим визначенням їх геометричних параметрів.

Для експериментальних досліджень застосовано 3D-лазерний сканер промислового класу, засоби мікроконтролерного керування, а також програмні засоби обробки великих масивів просторових даних.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Розроблено комбінований метод сегментації хмари точок, що поєднує ітераційний метод RANSAC для виділення циліндричної частини та кластеризацію DBSCAN для визначення днищ із подальшим уточненням меж на основі аналізу нормалей і кривизни, що дозволяє зменшити похибку визначення геометричних параметрів до 2–3%.

2. Удосконалено геометричний метод калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів шляхом врахування фактичної

геометрії поверхні на основі 3D-хмари точок, що дозволяє розширити діапазон калібрувальних об'ємів та підвищити точність визначення місткості.

3. Розроблено **метод** оцінки невизначеностей удосконаленого геометричного методу, яка враховує вплив шуму хмари точок, нерівномірного розподілу даних, експлуатаційних деформацій та похибок вимірювальних приладів, що забезпечує підвищення відтворюваності результатів калібрування.

Практична цінність.

1. Розроблено автоматизовану систему керування положенням 3D-сканера, яка реалізує алгоритм прийняття рішень щодо необхідності та величини вертикального переміщення сканера на основі кількісної оцінки якості 3D-хмари точок (повнота покриття, рівень шуму, щільність точок, частка викидів). Система забезпечує адаптивне визначення напрямку (вгору/вниз) та величини переміщення з урахуванням геометричних меж резервуара, що дозволяє мінімізувати кількість повторних сканувань та підвищити повноту покриття внутрішньої поверхні резервуара.

2. Розроблено методику автоматизованого контролю якості 3D-сканування резервуара перед етапом калібрування, яка дозволяє кількісно оцінити придатність отриманої хмари точок до подальших геометричних розрахунків. Запропонована методика забезпечує раннє виявлення дефектів сканування (зони затінення, нерівномірна щільність, локальні спотворення), що знижує ризик формування некоректної калібрувальної таблиці та підвищує достовірність результатів вимірювання.

3. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення(захищене свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір № 123611) автоматизованого калібрування горизонтальних сталевих резервуарів, яке дозволяє формувати поміліметрову калібрувальну таблицю місткості та автоматизувати процес обробки 3D-даних. Програмний продукт забезпечує підвищення точності розрахунків, зменшення трудомісткості калібрування та можливість впровадження у промислових умовах. Результати роботи можуть

бути використані підприємствами паливно-енергетичного комплексу та метрологічними службами.

Особистий внесок здобувача був виконаний під керівництвом доктора технічних наук, професора Безуглого М.О. і представлений у публікаціях та працях конференцій. Здобувачем виконано:

- у статті “Review of calibration methods for cylindrical steel vertical oil storage tanks” (2023) здобувачем виконано аналіз існуючих методів калібрування резервуарів та обґрунтовано доцільність застосування геометричного методу для горизонтальних резервуарів;

- у статті “Integrated approach for 3D point cloud segmentation in tank calibration” (2025) здобувачем розроблено та реалізовано комбінований метод сегментації 3D-хмари точок резервуара, виконано експериментальну перевірку алгоритмів та аналіз точності;

- у статті «Програмна реалізація автоматизованої системи калібрування циліндричних резервуарів» (2025) здобувачем розроблено архітектуру програмного забезпечення, реалізовано алгоритми розрахунку місткості та формування поміліметрової таблиці;

- у матеріалах конференцій 2023 року здобувачем розроблено алгоритмічне забезпечення калібрування резервуарів геометричним методом, структурну схему автоматизованої системи та алгоритм визначення рівнів калібрування;

- у статті “An Automated System for Calibration Table Calculation of Cylindrical Horizontal Tanks”, здобувачем представлено інтегровану модель автоматизованої системи калібрування та результати експериментальної перевірки точності формування калібрувальної таблиці.

У одноосібному доробку здобувача виконано розроблення алгоритмів обробки 3D-хмар точок, методики оцінки невизначеностей вимірювання, програмної реалізації автоматизованого розрахунку градуовальної таблиці та проведення експериментальних досліджень.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на всеукраїнських і міжнародних науково-практичних конференціях, зокрема:

- XVI Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування» (Київ, 2023);

- XXII Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи» (Київ, 2023);

- XIX Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні» (Київ, 2023);

- наукових семінарах кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Під час апробації обговорювались результати сегментації 3D-хмар точок, алгоритми автоматизованого керування положенням 3D-сканера, питання оцінки похибок та формування поміліметрових калібрувальних таблиць.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено у наукових працях, серед яких:

- статті у фахових наукових виданнях категорії Б;
- публікації у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій;

- свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму № 123611 від 08.02.2024;

- стаття у міжнародному науковому журналі, який індексується SCOPUS.

Загальна кількість публікацій за темою дисертації — 8 наукових праць.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 142 сторінки друкованого

тексту, містить 41 рисунок, 5 таблиць, 70 формул та список використаних джерел із 77 найменувань.

Розділ 1. Аналітичні передумови розроблення автоматизованих систем контролю ємності резервуарів

Калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів є важливим елементом метрологічного забезпечення в промислових галузях, таких як нафтогазова, хімічна, енергетична та логістична. Точність визначення місткості резервуарів безпосередньо впливає на ефективність обліку рідин, зокрема палива, хімічних речовин, води чи інших продуктів, що має критичне значення для економічної діяльності, безпеки експлуатації та відповідності нормативним вимогам. Неточності в калібруванні можуть призводити до значних фінансових втрат, порушення технологічних процесів або навіть екологічних ризиків через помилки в оцінці об'ємів запасів. У сучасних умовах, коли вимоги до точності та автоматизації зростають, традиційні методи калібрування, такі як ручні вимірювання чи використання стандартних таблиць, виявляються недостатньо ефективними через їхню неспроможність повноцінно враховувати геометричні особливості резервуарів, зокрема деформації, нерівності чи відхилення від ідеальних форм.

Розвиток технологій 3D-сканування відкриває нові перспективи для підвищення точності калібрування завдяки можливості створення детальних просторових моделей резервуарів у вигляді хмар точок. Такий підхід дозволяє перейти від спрощених припущень до точного відтворення реальної геометрії об'єкта, що є основою для автоматизованих систем калібрування. Використання різних алгоритмів обробки даних у поєднанні з сучасними методами аналізу забезпечує надійну сегментацію хмари точок, визначення геометричних параметрів і розрахунок місткості з мінімальними похибками. Це особливо важливо для горизонтальних циліндричних резервуарів, які часто мають складну конструкцію через виробничі дефекти, експлуатаційні деформації чи корозію.

У даному розділі наведено аналіз існуючих методів калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів, оцінка їхніх переваг і недоліків, а також обґрунтування доцільності розробки автоматизованого

підходу на основі 3D-сканування. У розділі розглядаються традиційні методи, сучасні технології, нормативна база, а також ключові виклики, пов'язані з підвищенням точності та ефективності калібрування. Особлива увага приділяється аналізу можливостей геометричного методу, його обмежень і перспектив удосконалення шляхом інтеграції автоматизованих систем обробки даних, що є основою для подальшого теоретичного та практичного дослідження в дисертаційній роботі.

1.1 Методи калібрування резервуарів паливно-енергетичної інфраструктури

Калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів є складним процесом, що вимагає вибору відповідного методу залежно від конструктивних особливостей резервуара, умов експлуатації та вимог до точності. Існує кілька основних методів калібрування, кожен з яких має свої особливості, переваги та обмеження.

Оптимізація частоти метрологічного нагляду з урахуванням типу, об'єму резервуарів і графіків технічного обслуговування дозволяє знизити витрати та підвищити точність контролю [1]. Це сприяє забезпеченню економічної ефективності й екологічної відповідальності. Відсутність універсальних критеріїв для визначення періодичності калібрування резервуарів ускладнює забезпечення їх ефективного метрологічного нагляду. Необхідно адаптувати частоту калібрування відповідно до типу резервуара, його об'єму та умов експлуатації. Це дозволить синхронізувати метрологічний контроль із технічним обслуговуванням, мінімізувати витрати та вплив на навколишнє середовище [2]. Такий підхід сприяє підвищенню точності вимірювань і підтримує глобальні стандарти торгівлі та екологічної безпеки.

Значні відхилення у об'ємі резервуарів часто асоціюються з крадіжками чи саботажем, але дослідження [3] показує, що вони в основному спричинені неточностями в калібруванні резервуарів. Аналіз двох наборів даних калібрування виявив суттєві невідповідності, зумовлені деформаціями, викликаними нерівними дорогами, аваріями та іншими фізичними факторами,

які впливають на точність обліку запасів у ланцюзі постачання. Це підкреслює важливість регулярного калібрування для підвищення точності управління запасами та мінімізації економічних втрат.

Калібрування сталевих циліндричних резервуарів є ключовим процесом, що забезпечує точне визначення об'єму рідини при її зберіганні. Від цього залежить коректний облік продукції та ефективність управління її запасами. Існує кілька методів калібрування, серед яких найбільш поширеними є гідростатичний і геометричний методи.

Гідростатичний метод передбачає наповнення резервуара водою і визначення об'єму на основі рівня рідини та її щільності [4-6]. Хоча гідростатичний метод є досить простим і широко застосовуваним, його основним недоліком є висока трудомісткість і залежність від умов проведення вимірювань. Вологість, температура та інші зовнішні фактори можуть впливати на точність вимірів. Крім того, метод потребує значних затрат води та часу. Однак у випадках, коли немає можливості використати більш сучасні підходи, гідростатичний метод залишається основним інструментом, особливо для резервуарів невеликого об'єму.

Геометричний метод [7-11] базується на вимірюванні фізичних параметрів резервуара, таких як діаметр, довжина, кривизна стінок, та подальших розрахунках об'єму на основі цих параметрів. Цей метод є одним з найбільш точних, оскільки виключає вплив зовнішніх факторів, таких як температура та щільність рідини. Він дозволяє обчислити об'єм на основі лише геометричних даних резервуара. Основними недоліками цього підходу є складність і тривалість розрахунків, що робить його менш привабливим у випадках, коли потрібно швидко отримати результат.

Геометричний метод поділяється на метод ручного вимірювання (manual-strapping method (MSM)) [7-8] та електронно-оптичні методи (Electro-Optical Distance Ranging (EODR)) [9-11]. Метод ручного вимірювання є застарілим і в основному використовується для покращення результатів розрахунків іншими методами. Електронно-оптичні методи

калібрування використовують спеціалізовані прилади, що вимірюють рівень рідини або тиск у резервуарі з подальшим автоматичним розрахунком об'єму. Цей підхід забезпечує швидкість і точність, але вимагає високих витрат на обладнання та його обслуговування. Крім того, для електронних методів необхідні високі технічні знання для роботи з апаратурою та програмним забезпеченням.

У статті [12] проведено всебічний аналіз методів контролю якості об'єму резервуарів для зберігання рідин, таких як нафтопродукти та хімічні речовини. Основними результатами дослідження є те, що геометричні методи ефективні для резервуарів з чіткою геометрією, а гідростатичні методи більше підходять для резервуарів складної форми або невеликої місткості. 3D-лазерне сканування визнано перспективним методом завдяки його точності та можливості врахування деформацій резервуарів. Зазначено необхідність стандартів для узгодження цього методу з міжнародними нормами. Результати статті можуть бути використані для покращення процесів контролю якості резервуарів у промисловості, а також для подальшого розвитку технологій та стандартів у цій галузі.

У дослідженні [13] проведено порівняльний аналіз методів калібрування резервуарів: ручного вимірювання (MSM) та електрооптичного дистанційного вимірювання (EODR). Метод EODR забезпечує вищу точність, швидкість та безпеку, але є дорожчим у використанні, тоді як MSM є економічнішим, але вимагає більше часу та зусиль. Обидва методи відповідають міжнародним стандартам, але EODR рекомендовано для застосування у випадках, коли важливі точність і швидкість калібрування. У іншому дослідженні [14] було оцінено геометричні методи калібрування резервуарів для зберігання рідин з використанням підходу Fuzzy TOPSIS (F-TOPSIS). Було розглянуто чотири основні методи калібрування, включаючи їх сильні та слабкі сторони, за такими критеріями: точність, ризик, час виконання, фізичні зусилля, вартість. Електронно-оптичний метод був визнаний найкращим із коефіцієнтом близькості 0.974, тоді як метод ручного

вимірювання показав найгірший результат – 0.197. Для підтвердження результатів використовувалася ще одна техніка Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), яка також визнала електронно-оптичний метод найефективнішим методом.

У статті [15] досліджуються переваги 3D-лазерного та фото-сканування для метрологічного контролю резервуарів. Обидва методи забезпечують високу точність вимірювань (до $\pm 0,5\%$), можливість створення 3D-моделей та виявлення деформацій. Фото-сканування зручніше у використанні, але його ефективність знижується в умовах низької освітленості. Ці технології рекомендовано для покращення точності та швидкості контролю резервуарів у промисловості.

Також дослідження пропонують сучасні методи калібрування, такі як 3D-лазерне сканування та автоматизація процесу через симуляції Монте-Карло. У роботі Knyva et al. [16-17] запропоновано використання лазерного сканування для створення високоточних хмар точок, що дозволяють точно визначити об'єм резервуарів навіть за умов деформацій їхньої геометрії. Цей підхід забезпечує високу точність і детальний аналіз похибок, однак вимагає значних фінансових ресурсів та спеціалізованого обладнання. На противагу цьому, Zhou і Zhang [18] розглянули використання симуляцій Монте-Карло для автоматизації калібрування. Цей метод є більш доступним і універсальним для різних типів резервуарів, хоча його точність залежить від якості математичної моделі та вхідних даних. У дослідженні Samoilenko & Zaets [19] розглядається вдосконалений метод лазерного сканування, який дозволяє калібрувати резервуари з урахуванням їх реальних деформацій. На відміну від Knyva et al., цей підхід забезпечує більш детальний аналіз геометричних параметрів, таких як радіус, площа поверхні та об'єм. Окрім цього, у роботі Samoilenko & Zaets приділено особливу увагу оцінці похибок, зумовлених експлуатаційними умовами, що робить метод більш універсальним у порівнянні з попередніми підходами. Підходи мають свої переваги та обмеження: лазерне сканування є ідеальним для складної геометрії

резервуарів, тоді як симуляції Монте-Карло ефективніші для масового застосування. Іншим інноваційним підходом є фотограмметричні методи, що дозволяють безконтактно вимірювати геометричні параметри резервуарів та виявляти їх деформації (Goda et al., 2019) [20]. Ці методи забезпечують високу точність і значно спрощують процес контролю. Крім того, методики обробки даних на основі VAB і OLE, описані Wan et al. (2021) [21], сприяють автоматизації створення калібрувальних таблиць і забезпечують гнучкість для роботи з резервуарами різних типів. У той же час розробка сенсорних систем для резервуарів зі змінною орієнтацією, як зазначено Segura et al. (2023), дозволяє ефективно контролювати об'єми рідини навіть за складних умов експлуатації [22]. Інтеграція цих сучасних методів у практику метрологічного контролю дозволить не лише підвищити точність, але й адаптувати процес калібрування до різних промислових умов, що є критичним для забезпечення ефективності та економічної доцільності.

Також існують і інші методи калібрування резервуарів, серед яких: гравіметричний, комбіновані, оптичні, фотограмметрія.

Гравіметричний метод базується на вимірюванні маси рідини, що заповнює резервуар, з подальшим перерахунком її об'єму за відомою густиною [23]. Цей метод використовує високоточні вагові системи, які дозволяють визначити масу рідини з мінімальними похибками. Гравіметричний метод є особливо ефективним у випадках, коли потрібна максимальна точність, наприклад, у лабораторних умовах або для калібрування резервуарів із рідинами, що мають нестабільні фізичні властивості. Однак його застосування обмежене через високу вартість обладнання, складність транспортування вагових систем до місця експлуатації резервуара та необхідність точного визначення густини рідини, що залежить від температури та інших факторів.

Комбіновані методи поєднують елементи геометричного, об'ємного та гравіметричного підходів для досягнення оптимального балансу між точністю, вартістю та швидкістю виконання [4-11]. Наприклад, геометричні

вимірювання можуть доповнюватися частковим заповненням резервуара для перевірки розрахунків, або гравіметричні дані використовуються для уточнення об'ємних вимірювань. Сучасні комбіновані методи часто інтегрують технології 3D-сканування, які забезпечують детальну просторову модель резервуара, з подальшою обробкою даних за допомогою алгоритмів машинного навчання чи статистичних методів. Такі підходи дозволяють мінімізувати похибки, спричинені деформаціями чи нерівномірним розподілом точок, і забезпечують автоматизацію процесу, що робить їх перспективними для використання в промислових умовах.

Оптичний метод із опорною лінією (Optical reference line method) використовує лазерні або оптичні прилади для встановлення базової лінії всередині резервуара, що слугує відправною точкою для вимірювань [23-24]. Цей метод дозволяє точно визначити геометрію, але потребує складної підготовки та високоякісного обладнання, що ускладнює його застосування в польових умовах.

Оптичний метод триангуляції (Optical triangulation method) базується на аналізі кутів і відстаней між точками за допомогою оптичних систем, що дозволяє створити тривимірну модель резервуара [25]. Перевагою є висока деталізація, але метод вимагає значних обчислювальних ресурсів і чіткої видимості, що може бути проблемою в умовах поганої освітленості чи пилу.

Фотограмметрія передбачає створення 3D-моделі резервуара на основі серії фотографій, виконаних з різних ракурсів за допомогою спеціалізованих камер [26-27]. Цей метод є відносно недорогим і доступним, але його точність залежить від якості знімків і умов зйомки, а також потребує значного часу на обробку зображень.

Кожен із розглянутих методів має свої сильні та слабкі сторони (Табл.1.1), що визначає їхню доцільність залежно від специфіки завдання. Геометричний метод залишається найбільш поширеним через свою універсальність, але його вдосконалення за допомогою сучасних технологій, таких як 3D-сканування та автоматизована обробка даних, є ключовим

напрямок для підвищення точності та ефективності калібрування резервуарів.

Таблиця 1.1 - Існуючі методи калібрування резервуарів та їх застосування

Метод	Застосування	Переваги	Недоліки
Геометричний метод	Вимірювання геометрії резервуарів різної форми	Простота, універсальність	Обмежена точність при деформаціях
Гравіметричний метод	Лабораторне калібрування	Максимальна точність маси	Висока вартість, складність транспорту
Гідростатичний метод	Вимірювання об'єму шляхом тиску рідини в резервуарі	Висока точність для однорідних рідин	Потребує спеціальних датчиків, чутливість до температури та густини рідини
Метод ручного вимірювання (Strapping method)	Вимірювання зовнішніх розмірів резервуара стрічкою	Простота, не потребує складного обладнання	Низька точність, трудомісткість, не враховує деформації
Оптичний метод з опорною лінією (Optical reference line method)	Використання лазерних або оптичних ліній для вимірювання	Достатня точність, швидкість вимірювань	Обмеження в умовах поганої видимості, потребує калібрування обладнання
Метод оптичної триангуляції (Optical triangulation method)	Вимірювання за допомогою лазерних триангуляційних систем	Висока точність, підходить для нерівних поверхонь	Висока вартість обладнання, чутливість до пилу та забруднень
Електронно-оптичні методи (EODR)	Використання лазерних сканерів для побудови 3D-моделі	Висока точність, автоматизація, врахування деформацій	Висока вартість, потребує кваліфікованого персоналу
Фотограметрія	Створення 3D-моделі резервуара за фотографіями	Доступність, можливість роботи ззовні	Нижча точність, залежить від якості зображень і освітлення

Порівняльний аналіз існуючих методів калібрування показує, що геометричний метод є найбільш придатним для реалізації в складі автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів з таких причин.

По-перше, геометричний метод не потребує заповнення резервуара рідиною або використання еталонних об'ємів, що суттєво зменшує витрати часу та ресурсів, а також дає змогу проводити калібрування без порушення штатного режиму експлуатації об'єкта. Це є принципово важливим для об'єктів паливно-енергетичної інфраструктури, де простої резервуарного обладнання пов'язані зі значними економічними втратами.

По-друге, геометричний метод добре узгоджується з сучасними засобами автоматизації вимірювань і цифрової обробки даних. Використання 3D-сканерів та автоматизованих алгоритмів обробки хмар точок дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх факторів, підвищити відтворюваність результатів та забезпечити стабільне калібрування.

По-третє, на відміну від об'ємних і масових методів, геометричний дає змогу враховувати індивідуальні особливості кожного резервуара, зокрема деформації оболонки, овальність перерізів, відхилення осі від горизонталі та нерівномірність геометрії днищ. Це особливо актуально для резервуарів, що тривалий час перебувають в експлуатації та зазнають механічних і температурних впливів.

По-четверте, геометричний метод забезпечує високий потенціал підвищення точності за рахунок удосконалення математичних моделей і алгоритмів чисельного інтегрування об'єму. Саме ця властивість робить його перспективною основою для розроблення автоматизованих систем калібрування нового покоління, орієнтованих на використання великих обсягів просторових даних.

Таким чином, вибір геометричного методу як базового підходу для даного дослідження зумовлений його відповідністю вимогам автоматизації, можливістю комплексного врахування реальної геометрії резервуарів та високим потенціалом підвищення точності і ефективності процесу калібрування. Саме ці фактори визначили доцільність його застосування при розробленні автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів у межах даної дисертаційної роботи.

1.2 Аналіз сучасних систем автоматизації, що використовується для реалізації калібрування резервуарів

У забезпеченні паливно-енергетичної інфраструктури застосовуються різні автоматизовані засоби для побудови градувальних таблиць. Серед них можна виділити як комерційні системи, так і окремі програмно-апаратні рішення та програмні пакети для обробки даних. Сучасні системи автоматизації калібрування резервуарів на основі геометричного методу еволюціонували від вимірювань простими інструментами до комплексних автоматизованих рішень, що поєднують високоточне вимірювальне обладнання та програмні засоби для обробки просторових даних. Розглянемо найпоширеніші автоматизовані системи та підходи.

CalibeX 3D – сучасне рішення, орієнтоване на 3D-лазерне калібрування резервуарів, яке дозволяє створювати тривимірну математичну модель внутрішньої геометрії резервуара і на її основі формувати таблицю відповідності рівня до об'єму [28]. CalibeX 3D (Рис.1.1) широко використовується у паливній галузі для визначення профілю внутрішньої поверхні та побудови таблиці місткостей.

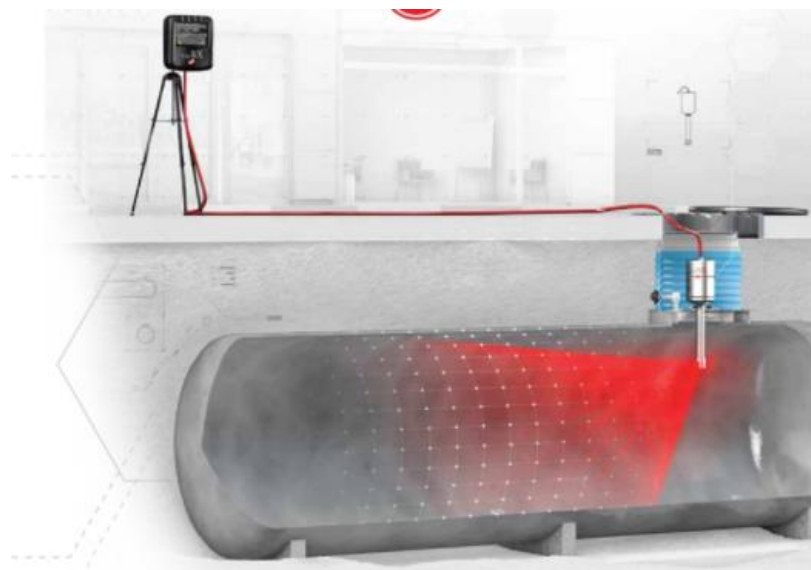


Рисунок 1.1 – Автоматизована система CalibeX 3D (Джерело: <https://www.calibex3d.com/>)

Основні характеристики включають вимірювання діаметра, довжини, нахилу резервуара та параметрів днищ, а також можливість калібрування без повного спорожнення резервуара, що в свою чергу може вплинути на точність. Система здатна завершити калібрування протягом 25–40 хвилин, що при значній кількості резервуарів є суттєво довгим часом.

CalibeX 3D частково залежна від внутрішньої конфігурації резервуара, діапазон вимірювань до 10м, що унеможливорює роботу з більшими резервуарами, й якості підготовки поверхні, що може впливати на якість тривимірних вимірювань у складних умовах експлуатації.

The ProGauge™ 3D Laser Scan Automatic Tank Calibration – комерційна система автоматичного калібрування ємностей (Рис.1.2) за допомогою 3D-лазерного сканера [29]. Вона використовує лазерні вимірювання для побудови тривимірної моделі резервуара, що дозволяє розраховувати місткість рідин без необхідності спорожнення. Система інтегрується з автоматичними системами обліку рівня і формує готові таблиці калібрування.



Рисунок 1.2 – Автоматизована система ProGauge™ (Джерело: <https://www.doverfuelingsolutions.com/mea/en/products-and-solutions/automatic-tank-gauging/soles/progauge-mechanical-tank-gauge.html>)

Недоліками системи є висока вартість впровадження та обмежена гнучкість в налаштуванні алгоритмів обробки даних; потребує професійного налаштування і технічного супроводу при впровадженні на різних типах резервуарів; слабка підтримка адаптивного планування позицій лазерного сканування під час збору даних.

У роботі М. Кнува [30-32] запропоновано концепцію автоматизації процесу калібрування горизонтальних паливних резервуарів із використанням 3D-лазерного сканування в межах IoT-інфраструктури (Рис.1.3). Автори розглядають геометричний метод як альтернативу гідростатичному (об'ємному) методу та демонструють його переваги з точки зору швидкості та повноти отриманих даних.

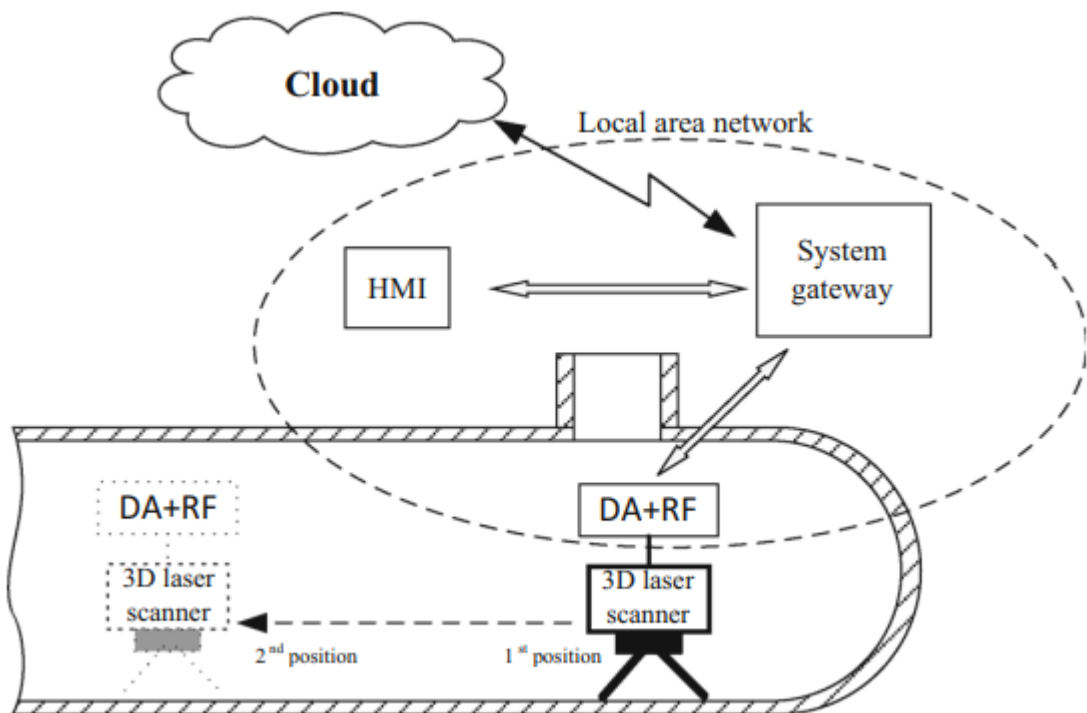


Рисунок 1.3 – Концепт автоматизованої системи калібрування резервуарів [30]

Згідно з представленою концепцією, лазерний сканер розміщується всередині резервуара, після чого виконується щонайменше два сканування з різних позицій для формування повної тривимірної хмари точок внутрішньої поверхні резервуара. Подальша обробка даних здійснюється шляхом

пошарового розбиття 3D-моделі та інтегрування площ поперечних перерізів для формування градувальної таблиці.

Попри очевидні переваги, аналіз запропонованої концепції дозволяє виявити низку суттєвих обмежень, характерних для більшості сучасних автоматизованих систем геометричного калібрування:

1. Відсутність автоматизованого керування положенням лазерного сканера – за концептом необхідно вручну змінювати положення.
2. Обмежена інтеграція вимірювальної та керувальної підсистем.
3. Високі вимоги до апаратних ресурсів без оптимізації процесу сканування.

Сучасні комерційні системи автоматизованого калібрування резервуарів, зокрема рішення компаній SGS [33], Intertek [34], PYEI Sone Hein Group [35], мають спільну концептуальну основу, що полягає у використанні лазерних або електрооптичних засобів вимірювання для отримання просторових даних внутрішньої поверхні резервуара з подальшим цифровим формуванням градувальних таблиць. Незважаючи на різних виробників та відмінності у технічній реалізації, їх архітектура загалом є подібною: застосовується вимірювальний модуль (лазерний сканер або далекомір), програмне забезпечення для обробки даних та модуль формування звітної документації відповідно до вимог ISO або API. Усі системи декларують високу швидкість виконання робіт, мінімальний вплив негативних факторів та можливість інтеграції з автоматичними системами контролю рівня. Водночас детальні алгоритмічні аспекти їх функціонування — зокрема методи сегментації геометрії резервуара, способи фільтрації шуму хмари точок, механізми оцінки повноти покриття поверхні та моделі обчислення невизначеності — у відкритих джерелах практично не розкриваються. Більшість таких систем функціонує як закриті комерційні рішення, що унеможлиблює аналіз внутрішньої структури алгоритмів і перевірку методики обробки вимірювальних даних. Крім того, у доступних описах відсутня інформація про наявність адаптивного керування положенням

вимірювального модуля на основі аналізу якості отриманих даних, що дозволяє зробити висновок про переважно статичний характер організації процесу сканування. Таким чином, хоча зазначені системи мають подібний функціональний підхід і забезпечують високий рівень автоматизації вимірювань, конкретні тонкощі їх програмно-алгоритмічної реалізації залишаються невідомими, що обмежує можливість повноцінної метрологічної оцінки та порівняльного аналізу їх точності.

Автоматична станція калібрування резервуарів JV Technoton – система Automatic Tank Calibration Station (Рис.1.4) компанії Technoton призначена для автоматизованого визначення об'єму палива в резервуарах транспортних засобів та стаціонарних ємностях [36]. Основу системи становить комплекс датчиків рівня палива, електронного блоку обробки даних та програмного забезпечення для побудови калібрувальних характеристик.



Рисунок 1.4 – Автоматизована система Technoton (Джерело: <https://jv-technoton.com/products/automatic-tank-calibration-station/>)

Принцип роботи базується на поетапному заповненні або спорожненні резервуара з одночасною фіксацією показників рівнеміра. На основі отриманих залежностей формується калібрувальна таблиця, яка відображає відповідність сигналу датчика реальному об'єму.

Рівень автоматизації:

- автоматичний збір сигналів із датчиків рівня;
- цифрова фіксація об'єму на кожному етапі;
- програмне формування калібрувальної таблиці;
- інтеграція з телематичними системами моніторингу.

Обмеження:

- система орієнтована переважно на транспортні або відносно невеликі резервуари;
- не виконується визначення реальної геометрії ємності;
- точність залежить від стабільності процесу заповнення;
- відсутній просторовий аналіз деформацій оболонки.

Tank Calibration System (Sanki China). Компанія Sanki пропонує систему калібрування резервуарів (Рис.1.5), орієнтовану на використання в автозаправних комплексах [37]. Система забезпечує контроль рівня палива та формування таблиць калібрування на основі вимірювань рівнемірів.

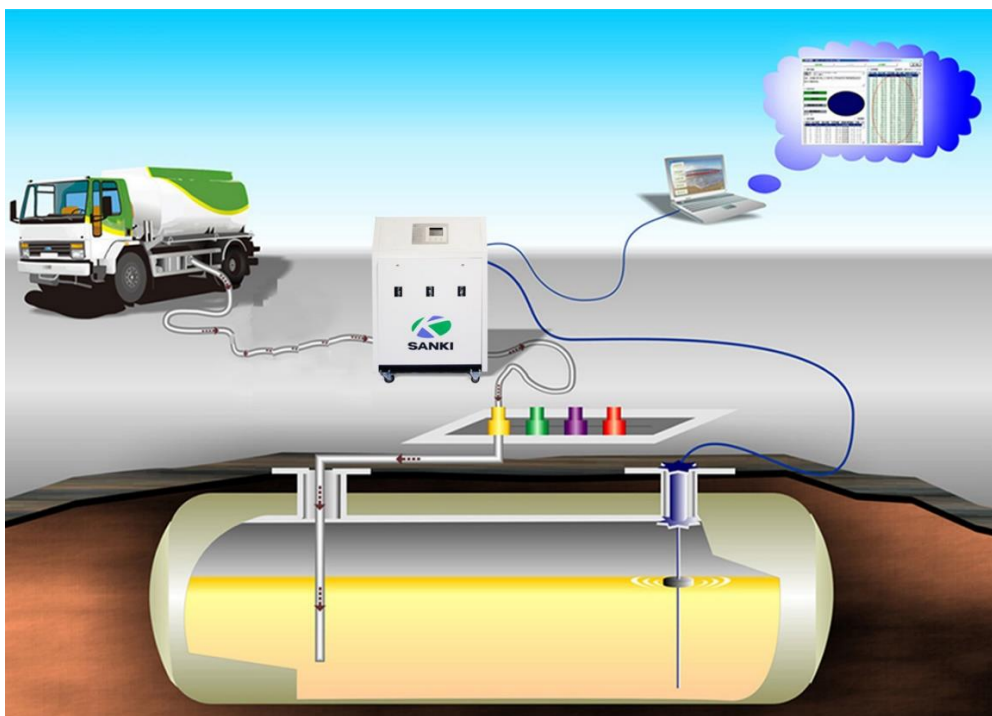


Рисунок 1.5 – Автоматизована система Sanki (Джерело: <https://www.sankichina.fr/product/tank-calibration-24.html>)

Принцип функціонування полягає у вимірюванні рівня рідини з використанням датчиків та програмному перерахунку рівня в об'єм згідно з заданими характеристиками резервуара.

Рівень автоматизації:

- автоматизований контроль рівня;
- формування звітів і таблиць;
- інтеграція з системами обліку палива.

Обмеження:

- відсутній модуль визначення геометричних параметрів резервуара;

- система працює в рамках заданої моделі ємності;
- не передбачено аналізу просторових відхилень форми;
- застосовується здебільшого для експлуатаційного контролю, а не для високоточного метрологічного калібрування.

Рівнемірні системи LPG-Term (Рис.1.6), представлені компанією LPG-Term, призначені для вимірювання рівня зрідженого газу або інших рідин у резервуарах [38]. Використовуються поплавкові, ємнісні або ультразвукові датчики рівня.

Система забезпечує:

- безперервний моніторинг рівня;
- передачу сигналу в систему обліку;
- розрахунок об'єму за наявною калібрувальною характеристикою.
- Обмеження:
 - калібрувальна таблиця задається попередньо;
 - не здійснюється побудова 3D-моделі резервуара;
 - не враховуються локальні геометричні відхилення;
 - система виконує функцію вимірювання рівня, а не первинного калібрування геометрії.

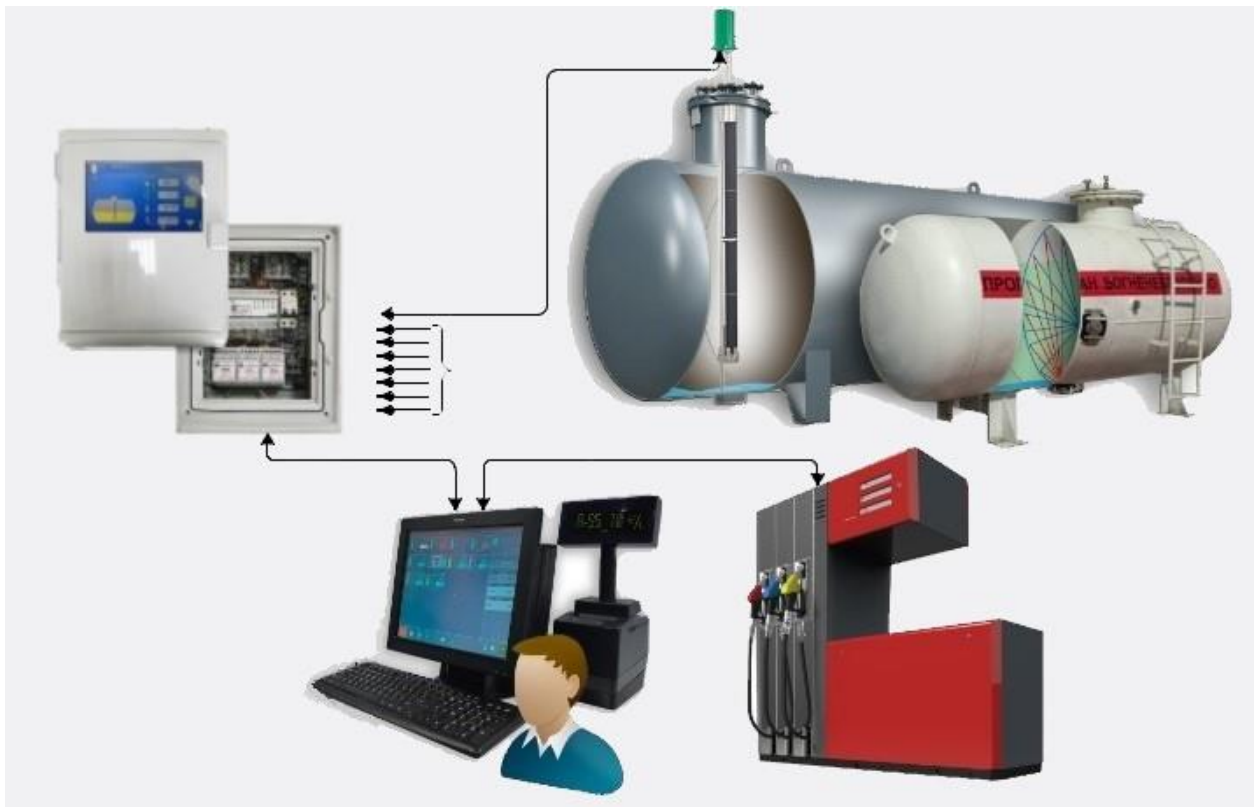


Рисунок 1.6 – Рівнемірні системи LPG-Term (Джерело: <https://www.lpg-term.com.ua/obladnannya/rivnemir.html>)

Загальні обмеження існуючих систем

Аналіз вказаних систем показує, що:

- відсутнє повністю адаптивне планування позицій лазерного сканування, яке б у реальному часі оптимізовувало переміщення джерела променя залежно від якості зібраних 3D-даних та геометричних особливостей резервуара — це призводить до нерівномірного покриття й підвищеної невизначеності в обраних зонах;
- більшість рішень не забезпечують автоматичну оцінку якості хмари точок на етапі збору, що зумовлює необхідність втручання оператора та перевірок сканувань;
- слабка інтеграція між апаратною частиною сканування та алгоритмічними засобами обробки даних, що ускладнює створення повністю автоматизованого конвеєра обробки від сканування до таблиці калібрування.

Отже, існуючі автоматизовані системи для реалізації геометричного методу калібрування резервуарів забезпечують високоточне 3D-сканування і

побудову математичних моделей, але мають спільні суттєві недоліки. Основним з них є відсутність адаптивних механізмів планування та переміщення лазерного джерела таким чином, щоб у процесі сканування підвищувати якість та повноту покриття хмари точок, що критично для підвищення точності вимірювання та зниження невизначеності результатів. Ці недоліки обмежують ступінь автоматизації процесу і зумовлюють потребу у нових алгоритмічних та системних рішеннях, що сприяють подальшому розвитку геометричних методів калібрування резервуарів.

1.3 Нормативне упорядкування автоматизованих методик повірки резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом

Нормативна база відіграє ключову роль у забезпеченні стандартизації та точності калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів, що використовуються для зберігання рідин у промислових галузях. Вона встановлює вимоги до методів, обладнання, процедур і документації, які забезпечують надійність результатів і відповідність міжнародним і національним стандартам.

ДСТУ 7475:2016 є основним національним стандартом України, який регламентує процедуру калібрування сталевих циліндричних резервуарів геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів. Цей стандарт визначає порядок виконання вимірювань, обробки даних і складання калібрувальних таблиць. Зокрема, він вимагає використання таких інструментів, як електронні тахеометри, лазерні сканери та ультразвукові товщиноміри, для визначення геометричних параметрів резервуара, включаючи радіус, довжину, форму днищ і товщину стінок. ДСТУ 7475:2016 передбачає створення хмари точок із щонайменше 20,000 точок для забезпечення достатньої точності, а також облік впливу температури та атмосферного тиску. Однак стандарт не деталізує процедури сегментації хмари точок чи врахування деформацій, що може обмежувати його

ефективність для резервуарів із нестандартною геометрією чи значними експлуатаційними змінами.

На міжнародному рівні калібрування резервуарів регулюється стандартами, такими як ISO 12917 і MPMS Chapter 2.2, які встановлюють вимоги до геометричного та об'ємного методів. ISO 12917 фокусується на калібруванні резервуарів для нафти та нафтопродуктів, визначаючи процедури вимірювання, обробки даних і оцінки невизначеності. Цей стандарт акцентує на необхідності врахування деформацій і нерівностей поверхні, пропонуючи використання сучасних технологій, таких як лазерне сканування. MPMS Standard 2550, розроблений Американським нафтовим інститутом, деталізує методи калібрування для вертикальних і горизонтальних резервуарів, включаючи рекомендації щодо вимірювання товщини стінок і корекції об'єму з урахуванням температури. На відміну від ДСТУ, міжнародні стандарти більш детально описують методи оцінки невизначеності та врахування складних геометричних форм, що робить їх універсальнішими для різних типів резервуарів.

Порівняння ДСТУ 7475:2016 з міжнародними стандартами, такими як ISO 12917 і MPMS Chapter 2.2, виявляє як схожість, так і відмінності. Усі стандарти підкреслюють важливість точного вимірювання геометричних параметрів і врахування зовнішніх факторів, таких як температура та тиск. Однак ДСТУ 7475:2016 орієнтований переважно на геометричний метод і менш детально описує алгоритми обробки даних чи методики для нестандартних резервуарів. ISO 12917 і MPMS Chapter 2.2 пропонують ширший спектр методів, включаючи комбіновані підходи, і приділяють більше уваги автоматизації та обробці великих масивів даних, таких як хмари точок. Крім того, міжнародні стандарти чіткіше регламентують оцінку невизначеності, враховуючи внески від шуму даних, деформацій і нерівномірного розподілу точок. Водночас ДСТУ 7475:2016 є більш адаптованим до умов України, що робить його практичним для місцевих

підприємств, але потребує вдосконалення для інтеграції сучасних технологій, таких як 3D-сканування та автоматизована сегментація.

Нормативна база калібрування резервуарів формує основу для забезпечення точності та надійності метрологічних процесів. Однак сучасні виклики, пов'язані з необхідністю обробки складних геометричних структур і мінімізації похибок, вказують на потребу вдосконалення стандартів шляхом інтеграції передових технологій і алгоритмів обробки даних.

1.4 Постановка задачі дисертаційного дослідження

Аналіз існуючих методів калібрування резервуарів паливно-енергетичної інфраструктури та сучасних автоматизованих систем, що реалізують геометричний метод, показав, що, незважаючи на значний рівень технічного розвитку лазерних і оптичних вимірювальних засобів, проблема забезпечення високої точності та відтворюваності результатів калібрування горизонтальних сталевих циліндричних резервуарів залишається актуальною [39].

Сучасні автоматизовані системи геометричного калібрування, як правило, базуються на використанні лазерного 3D-сканування та подальшої обробки просторових даних. Водночас їх практичне застосування виявляє низку обмежень, пов'язаних із залежністю результатів калібрування від якості отриманої хмари точок, нерівномірності просторового покриття внутрішньої або зовнішньої поверхні резервуара, наявності локальних деформацій оболонки та обмеженої адаптивності систем керування вимірювальними засобами. У більшості наявних рішень положення лазерного сканера визначається статично або за заздалегідь заданим сценарієм, що не враховує фактичну геометрію резервуара та якість отриманих вимірювальних даних у процесі сканування.

Крім того, існуючі програмні засоби обробки 3D-хмар точок зазвичай використовують спрощені підходи до сегментації геометричних елементів резервуара, зокрема циліндричної частини та днищ, що може призводити до

зниження точності визначення геометричних параметрів і, відповідно, похибок у розрахунку калібрувальної таблиці місткості. Недостатньо повно враховується вплив шуму хмари точок, неоднорідності розподілу вимірювань і геометричних відхилень реальної форми резервуара від ідеалізованої моделі.

У зв'язку з цим виникає задача підвищення точності геометричного методу калібрування горизонтальних сталевих циліндричних резервуарів шляхом розроблення автоматизованої системи, здатної адаптивно оцінювати якість 3D-хмари точок, коректно виділяти основні геометричні елементи резервуара та забезпечувати достовірний розрахунок калібрувальної таблиці місткості.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно розв'язати такі основні задачі:

- проаналізувати вплив параметрів 3D-сканування та якості хмари точок на результати геометричного калібрування горизонтальних сталевих резервуарів;
- розробити метод оцінки якості 3D-хмари точок, що дозволяє приймати обґрунтоване рішення щодо придатності результатів сканування для подальшого калібрування або необхідності повторного вимірювання;
- удосконалити метод сегментації 3D-хмари точок резервуара шляхом поєднання ітераційного методу RANSAC для виділення циліндричної частини та кластеризації DBSCAN з уточненням меж для коректного визначення геометрії днищ;
- розробити алгоритми визначення геометричних параметрів циліндричної частини та днищ резервуара з урахуванням реальної форми поверхні;
- сформувати методику розрахунку поміліметрової калібрувальної таблиці місткості резервуара на основі вдосконаленого геометричного методу;
- розробити методику оцінки невизначеностей результатів калібрування, що враховує вплив шуму вимірювань, геометричних деформацій та особливостей просторового розподілу точок;

- реалізувати апаратне, алгоритмічне та програмне забезпечення автоматизованої системи калібрування горизонтальних сталевих циліндричних резервуарів і перевірити його працездатність на практичних даних 3D-сканування.

Розв'язання зазначених задач дозволить створити автоматизовану систему калібрування, яка забезпечує підвищення точності та відтворюваності результатів геометричного методу, а також розширює можливості його практичного застосування в умовах реальної експлуатації резервуарів паливно-енергетичної інфраструктури.

1.5 Висновки до розділу 1

1. На основі системного аналізу існуючих методів калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів, зокрема геометричного, гідростатичного, гравіметричного та комбінованих підходів, було встановлено, що гідростатичні та гравіметричні методи характеризуються високою трудомісткістю, значними матеріальними витратами та залежністю від фізичних властивостей калібрувальної рідини, що ускладнює їх застосування в експлуатаційних умовах. Показано, що геометричний метод має принципову перевагу з точки зору універсальності, оскільки базується на визначенні фактичних геометричних параметрів резервуара та не потребує його заповнення рідиною. Це знижує технологічні ризики та забезпечує можливість проведення калібрування без порушення виробничого процесу. Доведено, що саме геометричний метод є найбільш перспективним для інтеграції з сучасними технологіями 3D-сканування та подальшої автоматизації.

2. На основі аналізу існуючих програмно-апаратних рішень для автоматизованого калібрування резервуарів, які використовують лазерне або оптико-електронне сканування, було встановлено, що більшість комерційних систем орієнтовані переважно на обробку геометричних даних без реалізації повноцінної інтеграції з системами керування положенням сканера. Виявлено

такі характерні недоліки: відсутність формалізованої автоматичної оцінки якості 3D-хмари точок; недостатнє врахування впливу шуму вимірювань і локальних деформацій поверхні; обмежені можливості адаптивного планування позицій сканування. Показано, що існуючі рішення не забезпечують замкненого циклу «оцінка якості – корекція положення сканера – повторне сканування», що є необхідною умовою підвищення точності калібрування. Це підтверджує доцільність розроблення інтегрованої автоматизованої системи, у якій апаратна та алгоритмічна частини функціонують узгоджено.

3. Проаналізовано чинні міжнародні та національні нормативні документи, що регламентують процедури калібрування резервуарів геометричним методом. Встановлено, що нормативна база визначає загальні принципи вимірювання геометричних параметрів, побудови градуювальних таблиць та оцінювання похибок, однак не враховує специфіку обробки великих масивів даних 3D-хмар точок. Виявлено відсутність формалізованих вимог до алгоритмів сегментації поверхні резервуара, критеріїв якості просторових вимірювань та методик оцінки невизначеності з урахуванням нерівномірного розподілу точок. Також нормативні документи не регламентують процедури врахування локальних експлуатаційних деформацій і корозійних ушкоджень, що можуть суттєво впливати на визначення фактичного об'єму. Таким чином, доведено необхідність доповнення нормативного підходу сучасними методами цифрової обробки просторових даних.

4. На основі проведеного аналітичного огляду сформульовано науково-прикладну задачу розроблення автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів геометричним методом із використанням 3D-лазерного сканування. Визначено необхідність удосконалення геометричного методу шляхом впровадження алгоритмів автоматичної сегментації хмари точок, уточненого визначення геометричних параметрів циліндричної частини та днищ, а також

формалізованої оцінки невизначеностей. Обґрунтовано потребу інтеграції системи керування положенням 3D-сканера з алгоритмами оцінки якості сканування для забезпечення повноти покриття поверхні резервуара. Сформульовані завдання дослідження логічно впливають із виявлених недоліків існуючих методів і спрямовані на підвищення точності, відтворюваності та технологічної ефективності процесу калібрування.

Розділ 2. Розроблення автоматизованої системи для калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом

Точне калібрування резервуарів є критично важливим елементом у багатьох промислових процесах, де облік об'єму рідин відіграє ключову роль. Сталеві циліндричні горизонтальні резервуари широко використовуються в нафтогазовій, хімічній, енергетичній та логістичній галузях для зберігання рідких продуктів, таких як паливо, вода, хімічні речовини тощо. Помилки в калібруванні можуть призводити до значних економічних втрат, пов'язаних із неточним визначенням об'єму запасів, а також до порушення технологічних процесів чи нормативних вимог. Наприклад, у нафтогазовій промисловості навіть незначні відхилення в калібрувальних таблицях можуть спричинити помилки в обліку на тисячі літрів, що впливає на фінансові показники та безпеку експлуатації. Таким чином, підвищення точності калібрування резервуарів є актуальною задачею, яка потребує сучасних технологічних рішень.

Передумови розробки автоматизованого підходу на основі 3D-сканування зумовлені обмеженнями методів калібрування. Ці методи часто не враховують індивідуальні особливості резервуарів, зокрема деформації, нерівності поверхні чи відхилення від ідеальної геометричної форми, що виникають у процесі експлуатації чи виробництва. Розвиток технологій 3D-сканування відкриває нові можливості для отримання детальних просторових даних про конструкцію резервуара у вигляді хмари точок. Такий підхід дозволяє перейти від спрощених припущень до точного моделювання реальної геометрії об'єкта, що є основою для створення автоматизованої системи калібрування. Використання 3D-сканерів, як внутрішнього, так і зовнішнього типу, забезпечує високу роздільну здатність даних, що створює передумови

для розробки алгоритмів обробки та аналізу, спрямованих на підвищення точності.

У даному розділі наведено детальний опис алгоритму та математичних основ автоматизованого калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів геометричним методом. У розділі буде розглянуто послідовність етапів обробки хмари точок, включаючи сегментацію, визначення геометричних параметрів і розрахунок об'єму, а також представлено математичні моделі, які лежать в основі цих процесів. Особливу увагу буде приділено методам підвищення точності, зокрема сегментації за допомогою алгоритмів RANSAC і DBSCAN, а також оцінці та мінімізації похибок.

2.1 Структура та принцип функціонування автоматизованої системи калібрування горизонтальних сталевих резервуарів

Автоматизоване калібрування резервуарів неможливе без чіткого визначення структури системи та принципів її функціонування. Тому на початковому етапі доцільно розглянути архітектуру автоматизованої системи, взаємодію її апаратних і програмних компонентів, а також логіку реалізації геометричного методу калібрування на основі 3D-сканування.

2.1.1 Концепція технічного забезпечення автоматизованого калібрування резервуарів

Геометричний метод калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів, викладений у [11], є одним із основних підходів для визначення метрологічних характеристик резервуарів. Цей метод базується на використанні геодезичних приладів, таких як електронні тахеометри та сканери, для вимірювання геометричних параметрів резервуара з подальшою комп'ютерною обробкою даних для складання градуовальної таблиці. Повірка може проводитися як зсередини, так і зовні резервуара, залежно від його конструкції та умов експлуатації. Основна ідея полягає в

побудові точної просторової моделі резервуара, на основі якої розраховується його місткість для різних рівнів наповнення.

Процедура калібрування за геометричним методом включає кілька ключових етапів (Рис.2.1):

1. Вимірювання геометричних параметрів:

Використовуються геодезичні прилади для вимірювання координат точок на поверхні резервуара — як зовнішньої, так і внутрішньої, залежно від умов доступу. Рекомендується отримати щонайменше 20 000 точок, щоб забезпечити достатню точність для подальшої апроксимації геометричних форм.

Додатково вимірюються: товщина стінок резервуара – визначається ультразвуковим товщиноміром; базова висота – вимірюється рулеткою від базової точки до верху; температура (за допомогою термометра або пірометра) та атмосферний тиск (барометром) фіксуються для врахування впливу зовнішніх умов.

Вимірюються основні параметри: середній радіус, довжина, форма та розміри днищ (плоскі, конічні, еліптичні чи сферичні), а також кут нахилу резервуара. Ці дані є основою для подальших обчислень.

2. Обробка даних:

На цьому етапі зібрані дані аналізуються та апроксимуються для створення математичної моделі резервуара.

Використовується метод найменших квадратів (МНК), щоб визначити середній радіус і вісь циліндра. Цей підхід припускає, що циліндрична частина резервуара має ідеальну форму, що може не враховувати локальні деформації.

Хмара точок для днищ апроксимується за ідеалізованими геометричними моделями, відповідними до типу днища. Для нестандартних або деформованих днищ точність може знижуватися через відсутність універсального підходу.

Враховується вплив внутрішніх конструкцій (наприклад, циліндричних або прямокутних елементів) на загальну місткість.

Використання емпіричних коефіцієнтів не мають чітке обґрунтування, що може впливати на точність.

3. Обчислення місткостей:

На основі побудованої моделі обчислюється об'єм резервуара для різних висот наповнення.

Враховується лінійне розширення матеріалу резервуара залежно від температури, використовуючи відповідний коефіцієнт розширення. Метод припускає рівномірний розподіл температури по всьому резервуару, що не завжди відповідає реальності.

Розраховуються стандартна та розширена невизначеність на основі похибок вимірювальних приладів, процесу вимірювання та обробки даних. Не завжди детально розподіляються внески від різних джерел похибок.

Результатом цього етапу є градувальна таблиця, яка використовується для подальшої експлуатації резервуара.

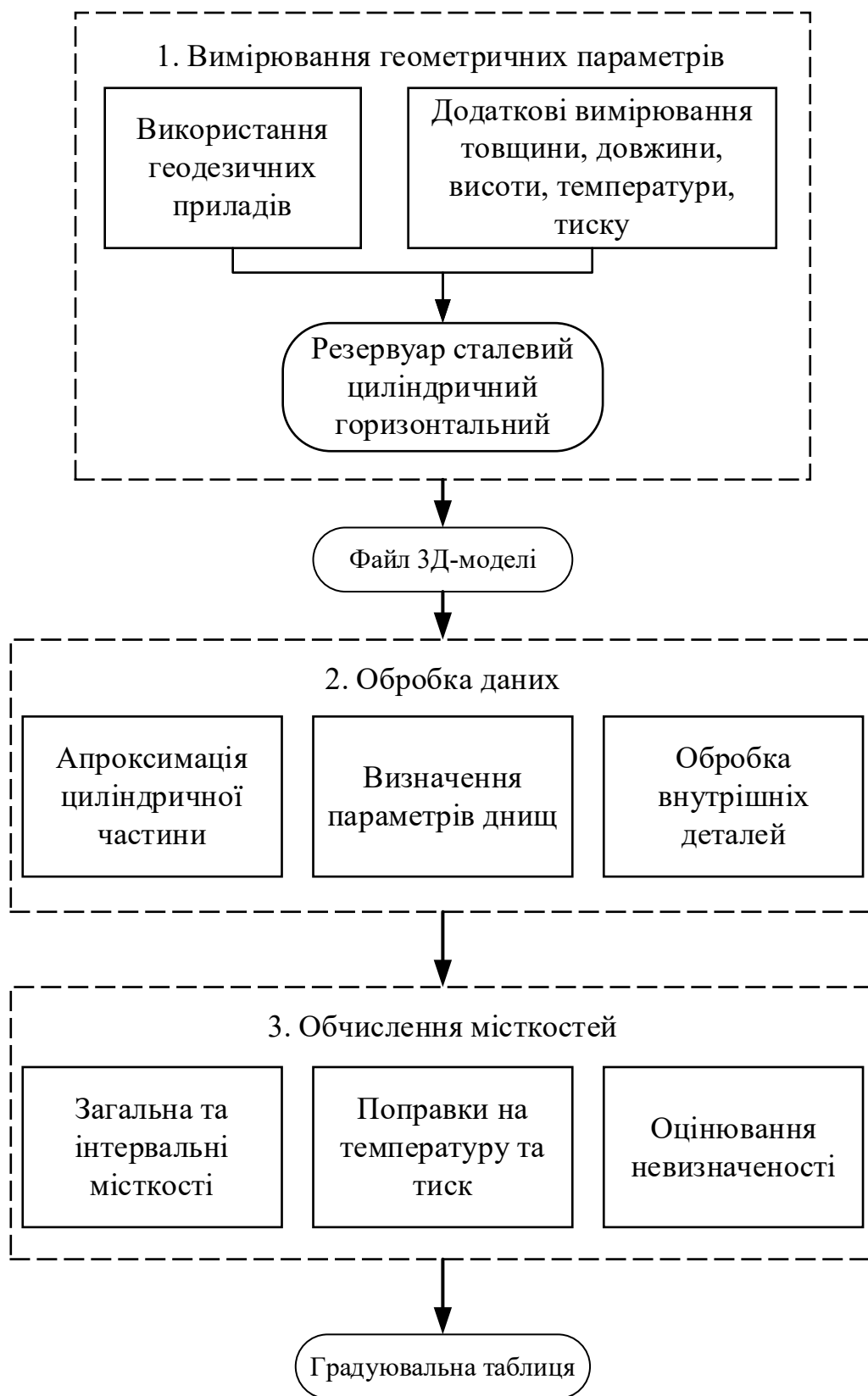


Рисунок 2.1 – Концепція процедури повірки резервуарів

Методологія [11] є структурованим підходом до перевірки резервуарів, але має певні аспекти, які потребують уваги:

- Сегментація 3D-моделі: у стандарті не описано чіткої процедури чи алгоритму для сегментації хмари точок на циліндричну частину та днища. Площини основи днищ згадуються як межі, але немає вказівок щодо їх автоматичного чи ручного визначення. Обробка даних залежить від суб'єктивного досвіду оператора або можливостей програмного забезпечення, що знижує відтворюваність і може призводити до похибок у визначенні меж між циліндром і днищами.
- Недостатнє врахування деформацій: МНК для циліндричної частини і моделі для днищ не враховують локальні деформації (овальність, прогин стінок, викривлення осі). Формули оптимізують глобальну форму, ігноруючи локальні відхилення.
- Ігнорування впливу корозії: стандарт не враховує зменшення товщини стінок через корозію, що впливає на внутрішній об'єм. Вимірювання товщини стінок передбачене, але немає формул для корекції місткості.
- Помилки в розрахунках місткості через емпіричні коефіцієнти: неточності в розрахунках інтервальних місткостей для резервуарів із складними внутрішніми деталями або великими кутами нахилу.
- Обмеженість моделей для днищ: формули для днищ базуються на ідеалізованих формах (плоскі, конічні, еліптичні, сферичні), не враховуючи деформації чи нестандартні конструкції, що призводить до помилки в розрахунках місткості днищ для резервуарів із асиметричними або пошкодженими днищами.
- Недостатнє оцінювання невизначеності: у стандарті описано оцінювання невизначеності, але не деталізовано внески від шуму в хмарі точок, нерівномірного розподілу точок або деформацій. Наслідками цього буде недооцінка або переоцінка похибок у градувальній таблиці.

Ця методологія забезпечує базову основу для калібрування, але її вдосконалення може зробити її більш універсальною та точною для різних умов експлуатації.

На рис. 2.2 представлена схема, яка реалізує нову концепцію автоматизованого геометричного калібрування та базується на повному використанні потенціалу 3D-лазерного сканування та цифрової обробки хмар точок.

Ключовою відмінністю є введення етапу оцінки якості 3D-сканування, який дозволяє аналізувати повноту, рівномірність і зашумленість хмари точок. На основі цієї оцінки реалізується зворотний зв'язок із системою керування положенням лазерного сканера, що забезпечує адаптивне переміщення сканера та повторне сканування проблемних зон. Таким чином, процес збору даних стає динамічним і керованим.

Другим принциповим удосконаленням є розширена обробка даних, яка включає:

- сегментацію хмари точок із видаленням шуму;
- апроксимацію циліндричної частини та визначення параметрів днищ з урахуванням локальних геометричних відхилень;
- роздільну обробку основних елементів резервуара на основі реальної геометрії, а не ідеалізованих припущень.

У частині обчислення місткостей друга схема забезпечує розрахунок загальної та інтервальної місткості для всіх поперечних перерізів резервуара, що дозволяє формувати поміліметрову градуювальну таблицю з урахуванням реальної форми корпусу. Додатково передбачено внесення поправок не лише на температуру та тиск, але й на корозію та старіння, що підвищує практичну цінність результатів.

Оцінювання невизначеності у другій схемі виконується з урахуванням деформацій резервуара та характеристик 3D-вимірювань, що відповідає сучасним вимогам цифрової метрології та забезпечує кращу простежуваність результатів.

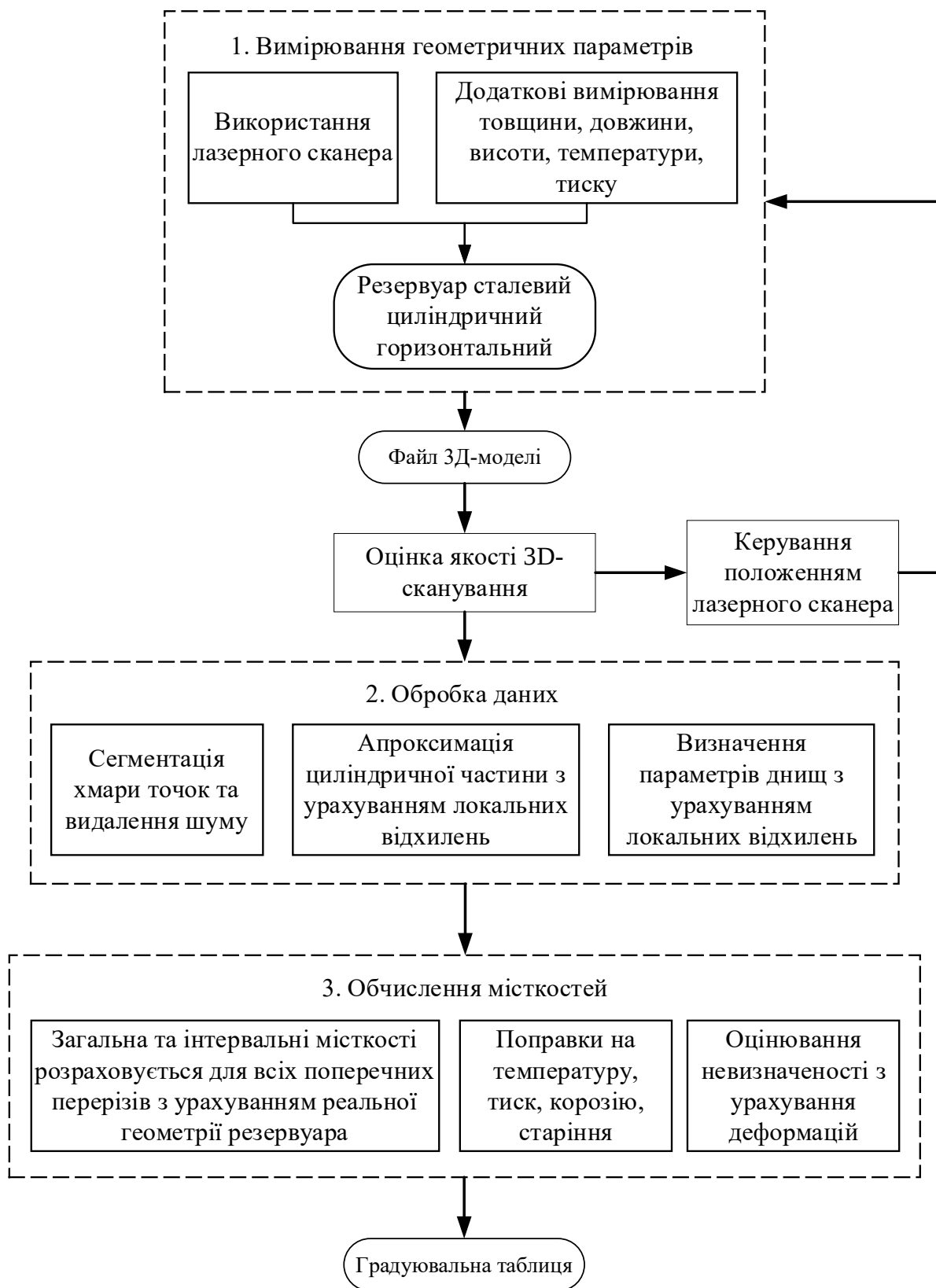


Рис.2.2 – Вдосконалена концепція процедури повірки резервуарів

Таким чином, друга схема є логічним розвитком і методичним удосконаленням першої. Якщо перша концепція відображає традиційний, переважно статичний підхід до геометричного калібрування, то друга схема реалізує адаптивну автоматизовану систему, орієнтовану на підвищення точності, відтворюваності та універсальності калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних.

Саме виявлені недоліки класичної схеми зумовили необхідність розроблення нової концепції, яка і покладена в основу дисертаційного дослідження.

2.1.2 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи для калібрування резервуарів

Структурна схема автоматизованої системи калібрування горизонтальних сталевих резервуарів наведена на Рис. 2.3 Вона відображає склад системи, взаємозв'язки між її апаратними та програмними компонентами, а також послідовність основних етапів автоматизованого калібрування на основі 3D-сканування [40].

Вихідним елементом системи є об'єкт калібрування — сталевий циліндричний горизонтальний резервуар, для якого виконується внутрішнє або зовнішнє лазерне сканування залежно від умов доступу та експлуатаційних особливостей. Формування просторових даних здійснюється за допомогою лазерного 3D-сканера FARO Laser Scanner Focus3D X130, який забезпечує вимірювання координат точок поверхні резервуара з високою просторовою роздільною здатністю.

Для доповнення геометричної інформації про резервуар у структурі системи передбачене використання ультразвукового товщиноміра, за допомогою якого визначається товщина стінок резервуара. Отримані дані можуть бути використані для уточнення геометричної моделі та врахування реальних конструктивних особливостей при подальших розрахунках.

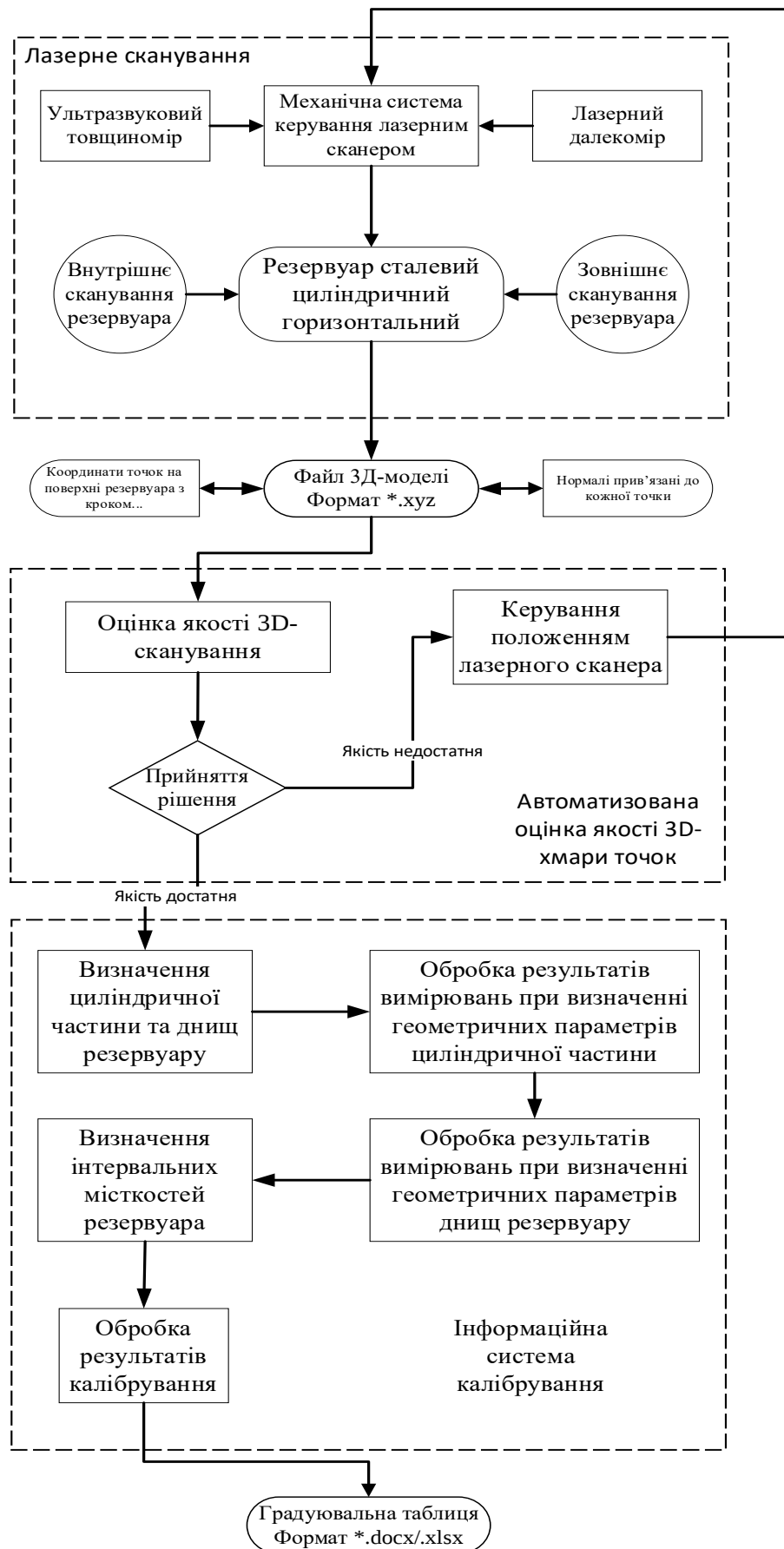


Рисунок 2.3 – Структурна схема автоматизованої системи для калібрування резервуарів

Результатом етапу вимірювань є формування 3D-моделі резервуара у вигляді хмари точок, представленої у файлі формату .xyz, який містить просторові координати точок поверхні з заданим кроком дискретизації, а також вектори нормалей, прив'язані до кожної точки. Ці дані слугують вхідною інформацією для програмної частини системи.

Наступним етапом є автоматизована оцінка якості 3D-сканування. В межах цього етапу здійснюється аналіз отриманої хмари точок за сукупністю критеріїв, що характеризують її придатність для подальшої геометричної обробки. За результатами оцінки формується керуюче рішення щодо достатності якості даних. У разі, якщо якість хмари точок визнана недостатньою, система переходить до підсистеми керування положенням лазерного сканера.

Підсистема керування положенням лазерного сканера реалізує зміну просторової орієнтації або положення сканера відносно резервуара з метою покращення умов сканування та зменшення зон з недостатньою щільністю точок або геометричними спотвореннями. Після зміни положення виконується повторне сканування, що забезпечує реалізацію замкненого циклу автоматизованого збору просторових даних.

У разі досягнення необхідного рівня якості 3D-хмари точок система переходить до етапу геометричної обробки результатів вимірювань. На цьому етапі здійснюється визначення циліндричної частини резервуара та його днищ, а також обробка результатів вимірювань для визначення їх геометричних параметрів. Отримані параметри використовуються для розрахунку інтервальних місткостей резервуара відповідно до вдосконаленого геометричного методу калібрування.

Подальша обробка результатів калібрування виконується в інформаційній системі калібрування, яка реалізує алгоритми формування калібрувальної (градуовальної) таблиці місткості резервуара. Кінцевим результатом роботи автоматизованої системи є формування градуовальної

таблиці у форматах .docx та .xlsx, придатних для подальшого використання в технічній документації.

Таким чином, наведена структурна схема відображає ієрархічну побудову автоматизованої системи калібрування, яка поєднує апаратні засоби вимірювання, елементи керування положенням 3D-сканера та програмні модулі аналізу, обробки й формування результатів.

2.2 Розроблення аналітичної моделі системи керування процесом автоматизованого калібрування резервуарів сталевих

Процес автоматизованого калібрування горизонтальних сталевих резервуарів на основі 3D-сканування є складним багатокомпонентним процесом, який включає вимірювальні, керуючі та обчислювальні підсистеми. Його особливістю є наявність зворотних зв'язків між якістю отриманої просторової інформації та керуванням положенням вимірювального засобу. Це обумовлює доцільність розгляду даного процесу як керованої динамічної системи.

Метою розроблення аналітичної моделі є формалізація взаємодії між підсистемами автоматизованого калібрування, опис залежностей між керуючими впливами, станом системи та вихідними результатами, а також створення математичної основи для синтезу алгоритмів керування процесом сканування і прийняття рішень щодо його корекції.

2.2.1 Обґрунтування вибору типу аналітичної моделі

Автоматизована система калібрування резервуарів [41-42] характеризується такими властивостями:

- багатовимірність (наявність декількох керуючих і вихідних змінних);
- дискретно-безперервний характер роботи;
- ієрархічна структура керування;

- наявність нелінійностей та стохастичних впливів, пов'язаних із шумом 3D-хмари точок і зовнішніми умовами сканування.

З урахуванням зазначених особливостей процес калібрування доцільно описувати у вигляді узагальненої структурно-аналітичної моделі з зворотним зв'язком, яка поєднує:

- аналітичний опис стану системи;
- логічні умови прийняття рішень;
- алгоритмічну модель переходів між етапами процесу.

Такий підхід дозволяє відокремити фізичні процеси вимірювання від логіки керування та програмної обробки, що є принципово важливим для автоматизованих вимірювальних систем.

2.2.2 Аналітичний опис моделі системи керування

У запропонованій автоматизованій системі калібрування горизонтальних сталевих резервуарів 3D-лазерний сканер працює у штатному режимі, при якому формування просторової хмари точок здійснюється за рахунок внутрішнього обертання вимірювального модуля сканера, визначеного його конструкцією та програмним забезпеченням виробника. Параметри цього обертання в межах системи керування не змінюються [42].

Керуючий вплив автоматизованої системи реалізується виключно шляхом лінійного переміщення 3D-сканера у вертикальній площині, перпендикулярно до горизонтальної площини встановлення резервуара. Таким чином, система керування забезпечує зміну висоти розташування сканера відносно об'єкта калібрування без зміни його просторової орієнтації.

З урахуванням зазначеного процес автоматизованого калібрування доцільно описувати як дискретну керовану систему з одним керуючим впливом та зворотним зв'язком за якістю вимірювальних даних.

Аналітична модель системи подається у вигляді:

$$S = (u, X, Y, Z, F, G), \quad (2.1)$$

де u — керуючий вплив, що відповідає вертикальному переміщенню 3D-сканера;

X — вектор станів системи;

Y — вектор вихідних параметрів;

Z — вектор зовнішніх збурень;

F — оператор динаміки системи;

G — оператор формування вихідних величин.

Керуючий вплив

Керуючий вплив визначається вертикальним положенням сканера:

$$u(k) = h_s(k), \quad h_{s,min} \leq h_s(k) \leq h_{s,max}, \quad (2.2)$$

де h_s — координата положення 3D-сканера вздовж вертикальної осі;

$h_{s,min}, h_{s,max}$ — граничні значення переміщення, зумовлені конструкцією модуля позиціонування.

Зміна керуючого впливу реалізується у вигляді дискретних кроків:

$$h_s(k+1) = h_s(k) + \Delta h_s(k), \quad (2.3)$$

де $\Delta h_s(k)$ — крок вертикального переміщення.

Вектор станів системи

Вектор станів системи описує якість отриманої 3D-хмари точок та поточний стан процесу:

$$X(k) = \begin{bmatrix} q(k) \\ \rho(k) \\ \sigma(k) \\ s(k) \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

де $q(k)$ — показник повноти покриття поверхні резервуара;

$\rho(k)$ — середня щільність точок у характерних зонах;

$\sigma(k)$ — інтегральна оцінка шуму хмари точок;

$s(k)$ — дискретний стан етапу процесу автоматизованого калібрування.

Вихідними параметрами системи є результати калібрування резервуара:

$$Y = \begin{bmatrix} V(h) \\ \Delta V(h) \end{bmatrix}, \quad (2.5)$$

де $V(h)$ — місткість резервуара на заданому рівні наповнення;

$\Delta V(h)$ — оцінка невизначеності визначеної місткості.

Динаміка системи

Зміна станів системи описується дискретним рівнянням:

$$X(k+1) = F(X(k), h_s(k), Z(k)), \quad (2.6)$$

де вектор збурень $Z(k)$ враховує вплив шуму вимірювань, геометричних неоднорідностей поверхні резервуара та зовнішніх умов сканування.

Умова прийняття керуючого рішення

Рішення щодо завершення процесу позиціонування та переходу до етапу геометричного калібрування приймається на основі перевірки умов:

$$q(k) \geq q_{\min}, \rho(k) \geq \rho_{\min}, \sigma(k) \leq \sigma_{\max}.$$

У разі невиконання хоча б однієї з умов формується нове значення керуючого впливу $\Delta h_s(k)$, що забезпечує покращення якості просторових даних у проблемних зонах.

2.2.3 Функціональна модель системи керування переміщенням 3D-сканера

Функціональна модель (Рис. 2.4) системи керування процесом автоматизованого калібрування резервуарів сталевих побудована за принципом замкненої системи автоматичного керування з негативним зворотним зв'язком [43]. Модель описує процес керування переміщенням 3D-сканера.

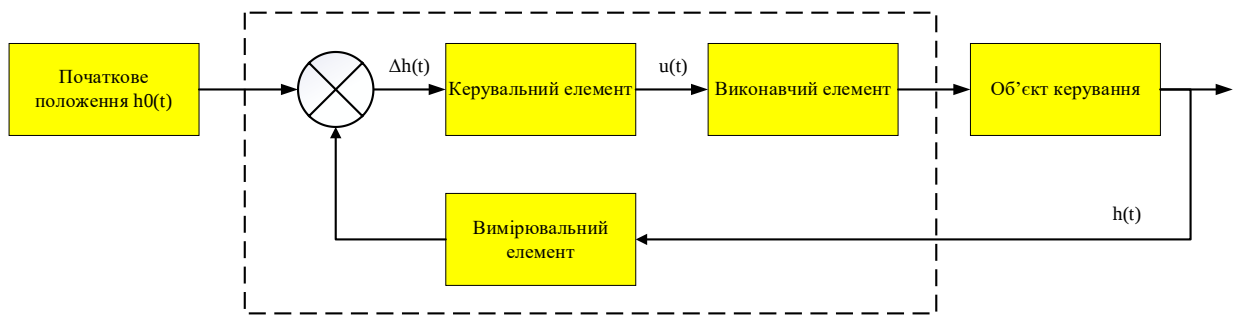


Рисунок 2.4 – Функціональна модель системи керування переміщенням 3D-сканера

На вхід системи подається задане значення вертикального положення сканера $h_0(t)$, яке визначається початковим положенням сканера. У суматорі формується сигнал похибки $\Delta h(t) = h_0(t) - h(t)$, де $h(t)$ — фактичне положення 3D-сканера по вертикальній осі.

Сигнал похибки надходить до керувального елемента, який реалізує алгоритм регулювання та формує керуючий сигнал $u(t)$. Даний сигнал подається на виконавчий елемент — серводвигун або лінійний електромеханічний актуатор, що забезпечує переміщення механізму вертикального позиціонування.

Об'єктом керування є механічна система вертикального переміщення разом із закріпленням на ній 3D-сканером. У результаті дії виконавчого елемента формується фактичне положення сканера $h(t)$.

Вимірювальний елемент (датчик переміщення) здійснює безперервний контроль вертикального положення сканера та передає відповідний сигнал у контур зворотного зв'язку. Наявність замкнутого контуру дозволяє компенсувати похибки позиціонування, вплив механічних люфтів і зовнішніх збурень, а також забезпечити високу точність та повторюваність положення 3D-сканера під час процесу калібрування резервуара.

2.3 Оцінка якості 3D-сканування для системи керування переміщень 3D-сканера

Ефективність геометричного методу калібрування резервуарів значною мірою визначається якістю вихідної 3D-хмари точок, отриманої в результаті лазерного сканування. Тому в межах розробленої автоматизованої системи передбачено модель автоматизованої оцінки якості 3D-сканування, яка забезпечує контроль достовірності та придатності вимірювальних даних до подальшої обробки.

Особливу складність становить той факт, що більшість сучасних програмних засобів для обробки 3D-сканів орієнтовані передусім на візуалізацію або реверсивне проектування, тоді як задачі аналізу вимагають формалізованого підходу до оцінки якості вихідних вимірювальних даних. У нормативних документах, зокрема у стандартах, що регламентують калібрування резервуарів, як правило, встановлюються вимоги до кінцевих результатів вимірювань, однак відсутні чіткі критерії оцінки якості проміжних цифрових моделей, отриманих методами лазерного сканування. Це зумовлює необхідність розроблення спеціалізованих моделей та алгоритмів контролю якості 3D-сканування, адаптованих до задач геометричного калібрування.

У межах автоматизованої системи калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом задача оцінки якості 3D-сканування набуває особливого значення, оскільки саме на основі хмари точок формується цифрова геометрична модель резервуара, яка є базою для подальших розрахунків. Помилки або дефекти на цьому етапі мають системний характер і не можуть бути повністю компенсовані на наступних стадіях обробки даних. Тому контроль якості 3D-сканування доцільно розглядати не як допоміжну операцію, а як невід’ємний елемент автоматизованого процесу калібрування.

Запропонована модель автоматизованої оцінки якості 3D-сканування передбачає мінімальну участь оператора, а основна ідея полягає у переході від суб’єктивної візуальної оцінки хмари точок до формалізованого аналізу її

просторових, статистичних та геометричних характеристик. Це дозволяє забезпечити відтворюваність результатів оцінки, зменшити вплив похибок та підвищити загальну надійність результатів.

Крім того, модель оцінки якості 3D-сканування розглядається як елемент системи зворотного зв'язку, що забезпечує адаптивність процесу вимірювань. У разі виявлення невідповідності параметрів хмари точок заданим критеріям якості система може ініціювати коригування умов сканування, зокрема зміну положення лазерного сканера. Такий підхід дозволяє оптимізувати процес збору даних без суттєвого збільшення тривалості робіт.

2.3.1 Показники якості 3D-хмари точок та формалізація критеріїв їх оцінки

У межах автоматизованої системи калібрування резервуарів якість 3D-хмари точок визначає можливість подальшого коректного виділення геометричних елементів резервуара, апроксимації його поверхонь та розрахунку інтервальних місткостей. В автоматизованій системі оцінка якості має здійснюватися формалізовано, на основі кількісних показників, придатних для використання в контурі керування.

Під якістю 3D-хмари точок у даній роботі розуміється сукупність метричних, топологічних та статистичних характеристик, що визначають повноту, однорідність та достовірність просторового представлення поверхні резервуара. Для забезпечення автоматизованого прийняття рішень запропоновано систему показників якості, які оцінюються як окремо, так і у вигляді інтегрального критерію.

Запропонована модель автоматизованої оцінки якості 3D-сканування включає наступні основні критерії: щільність точок, повнота покриття, рівень шуму, рівномірність розподілу точок та інтегральний показник якості. Кожен з них адаптовано до умов, коли геометричні параметри резервуара ще не визначені.

Щільність точок (density) характеризує кількість точок на одиницю площі поверхні резервуара та є критичною для точного моделювання геометрії, особливо для виявлення деформацій стінок [44]. Низька щільність може призвести до похибок у сегментації та розрахунку об'ємів, тоді як висока щільність забезпечує детальне відтворення форми циліндра та днищ.

Щільність розраховується як середня кількість точок на квадратний метр поверхні. Формула для оцінки щільності D для хмари точок $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, де n – загальна кількість точок, а S – оцінена площа поверхні резервуара:

$$D = \frac{n}{S}. \quad (2.7)$$

Повнота покриття (completeness) оцінює, наскільки повністю охоплена поверхня резервуара точками, без «дірок» або пропущених зон, що особливо важливо для горизонтальних резервуарів з потенційними перешкодами (наприклад, опорами або нерівностями) [45]. Неповне покриття може спотворювати розрахунок об'ємів, особливо в зонах днищ.

Повнота розраховується як відношення охопленої площі S_c до загальної очікуваної площі S поверхні. Для оцінки S_c використовується метод воксельної сітки: хмара точок розділяється на вокселі розміром v (0.1 м), і підраховується кількість заповнених вокселів k з загальної кількості можливих m . Формула розрахунку повноти покриття має такий вигляд:

$$C = \frac{S_c}{S} \approx \frac{k \cdot v^2}{S}, \quad (2.8)$$

де v^2 – площа проекції вокселя.

Рівномірність розподілу (uniformity) – це критерій, що характеризує, наскільки рівномірно розподілені точки по поверхні, без скупчень або розріджень [46]. Це важливо для точного розрахунку нормалей та кривизни в процесі уточнення меж кластерів.

Рівномірність оцінюється за допомогою ентропії розподілу точок у воксельній сітці. Формула для рівномірності U :

$$U = - \sum_{j=1}^m p_j \log p_j, \quad (2.9)$$

де $p_j = n_j/n$ – ймовірність (частка точок у вокселі j), n_j – кількість точок у вокселі, m – кількість вокселів. Максимальна ентропія відповідає ідеальній рівномірності.

Рівень шуму 3D-хмари точок (noise level) – це критерій, який оцінює випадкові відхилення точок від ідеальної поверхні резервуара, спричинені похибками сканера або зовнішніми факторами (наприклад, вібраціями) [47]. Високий шум ускладнює сегментацію RANSAC та DBSCAN, призводячи до похибок у визначенні меж кластерів.

Шум оцінюється як середньоквадратичне відхилення відстаней точок до апроксимованої поверхні. Формула для шуму N :

$$N = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2}, \quad (2.10)$$

де d_i – відстань точки p_i до моделі поверхні.

Інтегральний показник якості 3D-хмари точок Q поєднує всі критерії в єдину метрику для автоматизованого рішення. Він розраховується як зважена сума нормалізованих значень критеріїв, де ваги w_i визначаються, як $w_D = 0.3$, $w_C = 0.3$, $w_N = 0.2$, $w_U = 0.2$, з урахуванням їхнього впливу на точність калібрування.

Формула:

$$Q = w_D \cdot \frac{D}{D_{\max}} + w_C \cdot C + w_N \cdot \left(1 - \frac{N}{N_{\max}}\right) + w_U \cdot U, \quad (2.11)$$

де $D_{\max} = 10000$ точок/м², $N_{\max} = 5$ мм – граничні значення.

Правила прийняття рішення:

- $Q < 0,65$ — хмара точок непридатна, повторне сканування;

- $0,65 \leq Q < 0,85$ — умовно придатна, обов'язково застосовуються фільтрація шуму, видалення викидів та можлива інтерполяція пропусків, повторне сканування;

- $Q \geq 0,85$ — хмара придатна для подальшого калібрування;

- $Q \geq 0,9$ — висока якість, подальше калібрування.

Отже, для того щоб продовжити цикл калібрування необхідно досягти значення інтегрального показника - $Q \geq 0,85$, якщо значення буде меншим, то необхідне повторне сканування.

2.3.2 Адаптивне переміщення 3D-сканера на основі оцінки якості 3D-хмари точок

Ефективність автоматизованого калібрування безпосередньо залежить від повноти та однорідності покриття поверхні резервуара 3D-хмарою точок. У випадку недостатньої якості сканування виникають зони зниженої щільності або пропусків, що негативно впливають на сегментацію та подальше визначення геометричних параметрів.

У розробленій системі реалізовано адаптивний алгоритм переміщення 3D-сканера у вертикальній площині (вздовж осі Z) на основі формалізованої оцінки якості хмари точок. Сканер не змінює орієнтації, а переміщується лише лінійно вгору або вниз.

Формалізація задачі керування:

- $h_s(k)$ — поточне вертикальне положення сканера;
- $Q(k)$ — інтегральний показник якості хмари точок;
- $Q_{\min}$ — мінімально допустимий рівень якості;
- $D(z)$ — щільність точок у горизонтальному шарі на висоті z ;
- $Z_{\min}, Z_{\max}$ — межі геометрії резервуара.

Рішення про переміщення приймається, якщо $Q(k) < Q_{\min}$.

Аналіз розподілу точок по висоті

Для визначення напрямку переміщення виконується розбиття хмари точок на горизонтальні шари товщиною Δz (0.1 м).

Щільність точок у шарі:

$$D(z_i) = \frac{n_i}{S_i}, \quad (2.12)$$

де n_i — кількість точок у шарі;

S_i — площа перерізу резервуара на рівні z_i .

Обчислюється середня щільність:

$$\bar{D} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D(z_i). \quad (2.13)$$

Визначається градієнт розподілу щільності:

$$G = \frac{D_{\text{верх}} - D_{\text{низ}}}{Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}}, \quad (2.14)$$

де $D_{\text{верх}}$ — середня щільність у верхній третині;

$D_{\text{низ}}$ — середня щільність у нижній третині резервуара.

Визначення напрямку переміщення

Напрямок визначається знаком градієнта:

$$\Delta h_s = \begin{cases} +\Delta h, & \text{якщо } G < 0 \\ -\Delta h, & \text{якщо } G > 0 \end{cases} \quad (2.15)$$

Тобто: якщо щільність у верхній частині менша — сканер переміщується вниз; якщо у нижній — переміщується вгору.

Величина переміщення визначається пропорційно дефіциту щільності:

$$\Delta h = K_h \cdot \frac{D_{\text{ref}} - D_{\text{loc}}}{D_{\text{ref}}} \cdot H, \quad (2.16)$$

де K_h — коефіцієнт масштабування (0.1–0.3);

D_{loc} — локальна мінімальна щільність;

D_{ref} — нормативна щільність;

$H = Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}$ — висота резервуара.

Для уникнення надмірних переміщень вводиться обмеження: $\Delta h \leq \Delta h_{\max}$, де $\Delta h_{\max}$ — допустимий крок (0.3 м).

Для визначення початкового положення сканер встановлюється в геометричному центрі резервуара по висоті:

$$h_{s0} = \frac{Z_{\max} + Z_{\min}}{2}. \quad (2.17)$$

Для запобігання виходу сканера за межі резервуара вводяться граничні умови $Z_{\min} + \delta \leq h_s \leq Z_{\max} - \delta$, де δ — технологічний відступ (0.2–0.3 м).

Значення $Z_{\min}$ і $Z_{\max}$ визначаються на основі аналізу найближчих точок до сканера зверху та знизу: $Z_{\min} = \min(z_i)$, $Z_{\max} = \max(z_i)$.

Новий стан:

$$h_{s0} = Z_{\min} + 0.5(Z_{\max} - Z_{\min}). \quad (2.18)$$

Процес повторюється до виконання умови $Q(k) \geq Q_{\min}$.

Таким чином, переміщення 3D-сканера здійснюється на основі формалізованої оцінки якості 3D-хмари точок та аналізу просторового розподілу щільності вимірювань по висоті резервуара. Напрямок переміщення визначається за знаком градієнта розподілу щільності, а величина кроку — пропорційно локальному дефіциту покриття з урахуванням обмежень механічної системи та геометричних меж резервуара. Початкове положення сканера встановлюється оператором у центральній частині резервуара. Запровадження такого адаптивного алгоритму забезпечує замкнений контур «оцінка якості — корекція положення — повторне сканування», що підвищує повноту покриття поверхні, зменшує вплив зон недостатньої видимості та створює стабільні умови для подальшого геометричного моделювання і розрахунку місткості резервуара.

2.4 Математичне моделювання геометричних параметрів резервуара

Математичне моделювання геометричних параметрів сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів є ключовим етапом

автоматизованого калібрування геометричним методом. Цей процес базується на обробці 3D-хмари точок, отриманої в результаті сканування поверхні резервуара, і спрямований на визначення точних геометричних характеристик об'єкта для подальшого розрахунку його місткості. Математичні моделі, представлені в даному розділі, дозволяють врахувати реальну геометрію резервуара, включаючи можливі деформації, нерівності поверхні та відхилення від ідеальної циліндричної форми, що забезпечує підвищення точності.

Основна мета математичного моделювання полягає у створенні аналітичного опису резервуара, який включає циліндричну частину та днища, а також у формуванні алгоритмів для обчислення їхніх геометричних параметрів і об'єму для різних рівнів наповнення. Процес моделювання охоплює кілька етапів: сегментацію хмари точок для виділення окремих частин резервуара, визначення геометричних параметрів циліндричної частини (радіус, довжина, положення осі), апроксимацію форми днищ (плоских, сферичних, еліптичних чи конічних), а також обробку отриманих даних для побудови калібрувальної таблиці.

Математичне моделювання враховує як ідеалізовані геометричні форми, так і реальні відхилення, спричинені виробничими дефектами, експлуатаційними деформаціями чи корозією. Це дозволяє усунути обмеження стандартних методів ДСТУ 7475:2016.

2.4.1 Сегментація хмари точок на частини

Сегментація хмари точок є першим і ключовим етапом математичного моделювання геометричних параметрів сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів у процесі автоматизованого калібрування. Цей процес передбачає обробку набору точок із координатами (x, y, z) , отриманих за допомогою 3D-сканування, для виділення основних геометричних компонентів резервуара: циліндричної частини та двох днищ. Метою сегментації є чітке розділення хмари точок на відповідні підмножини, що

представляють ці компоненти, а також видалення шумових даних, які виникають через нерівності поверхні, деформації чи обмеження сканувального обладнання. Запропонований підхід базується на гібридному методі, який поєднує алгоритми RANSAC (Random Sample Consensus) і DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) із подальшим уточненням меж між циліндром і днищами на основі локальних геометричних характеристик. Такий підхід забезпечує високу точність і стійкість до шуму, що є критично важливим для обробки реальних даних [48].

Процес сегментації складається з трьох основних етапів: початкове виділення циліндричної частини за допомогою RANSAC [49], кластеризація решти точок для ідентифікації днищ за допомогою DBSCAN і уточнення меж між циліндром і днищами з використанням аналізу нормалей і кривини. Кожен етап має свої математичні основи та алгоритмічні особливості, які детально описано нижче.

1. Виділення циліндричної частини за допомогою RANSAC

Алгоритм RANSAC застосовується для апроксимації циліндричної частини резервуара, яка становить основну частину його об'єму [50-51]. Нехай $P = \{p_i \mid p_i = (x_i, y_i, z_i), i = 1, \dots, N\}$ — хмара точок, отримана в результаті сканування. Мета полягає у визначенні параметрів циліндра, зокрема радіуса R , осі циліндра (заданої вектором напрямку d і точкою на осі p_0), а також у виділенні підмножини точок P_{cyl} , що належать до циліндричної поверхні.

Вибір випадкових точок: На кожній ітерації RANSAC випадково обираються три точки p_1, p_2, p_3 з хмари P . Вісь циліндра d визначається як нормалізований вектор хрестового добутку векторів, що з'єднують ці точки:

$$d = \frac{(p_2 - p_1) \times (p_3 - p_1)}{\|(p_2 - p_1) \times (p_3 - p_1)\|}. \quad (2.19)$$

Точка p_0 на осі обчислюється як середнє арифметичне координат вибраних точок: $(p_1 + p_2 + p_3)/3$.

Оцінка радіуса: Для кожної точки $p_i \in P$ обчислюється відстань до осі циліндра:

$$d_i = \|(p_i - p_0) - [(p_i - p_0) \cdot d]d\|. \quad (2.20)$$

Радіус R оцінюється як медіана відстаней d_i для точок, що потенційно належать до циліндра. Це дозволяє зменшити вплив викидів.

Класифікація точок: Точка p_i вважається частиною циліндра (inlier), якщо виконується умова $|d_i - R| < \epsilon$ де ϵ — поріг допустимої похибки (наприклад, 0.01 м, залежно від точності сканера). Точки, що задовільняють цю умову, додаються до множини P_{cyl} .

Оптимізація ітерацій: Кількість ітерацій RANSAC визначається за формулою:

$$N = \frac{\log(1-p)}{\log(1-w^k)}, \quad (2.21)$$

де $p=0.99$ — ймовірність успіху, w — очікувана частка точок циліндра в хмарі, $k=3$ — кількість точок у вибірці. Цей підхід забезпечує надійне виявлення циліндричної поверхні навіть у зашумлених даних.

Результатом цього етапу є множина P_{cyl} , що представляє циліндричну частину, і множина залишкових точок $P_{rest} = P \setminus P_{cyl}$, яка включає точки днищ, шум і можливі внутрішні конструкції.

2. Кластеризація решти точок за допомогою DBSCAN [52]

Для виділення днищ резервуара з множини P_{rest} застосовується алгоритм DBSCAN, який групує точки на основі їхньої просторової щільності. DBSCAN ефективно ідентифікує кластери довільної форми та відокремлює шум, що є важливим для обробки даних із нерівномірним розподілом точок [53].

Визначення параметрів: DBSCAN використовує два ключові параметри: ϵ — радіус околу (наприклад, 0.05 м), який визначає максимальну відстань між точками в одному кластері; $minPts$ — мінімальна кількість точок у околі для формування кластера.

Формування кластерів: Для кожної точки $p_i \in P_{rest}$ визначається її окіл:

$$N(p_i) = \{p_j \in P_{rest} \mid \|p_i - p_j\| \leq \epsilon\}. \quad (2.22)$$

Якщо $|N_\epsilon(p_i)| \geq MinPts$, точка p_i вважається ядровою і формує початок кластера. Ядрові точки об'єднуються в кластери шляхом розширення околу, а точки, що не належать до жодного кластера, позначаються як шум.

Ідентифікація днищ: Після кластеризації отримуються множини кластерів $\{C_1, C_2, \dots\}$. Два найбільші кластери, що розташовані на кінцях циліндричної частини (визначаються за їхнім положенням відносно осі циліндра), ідентифікуються як переднє (C_1) і заднє (C_2) днища. Решта кластерів, якщо вони є, відкидаються як шум або внутрішні конструкції.

Цей етап дозволяє виділити точки, що належать до днищ, і відфільтрувати шум, який може становити до 10–15% від загальної кількості точок у реальних даних.

3. Уточнення меж між циліндром і днищами

Для підвищення точності сегментації виконується аналіз перехідних зон між циліндричною частиною (P_{cyl}) і днищами (C_1, C_2). У реальних даних межі між циліндром і днищами можуть бути розмитими через деформації, нерівномірне сканування або шум. Уточнення меж базується на локальних геометричних характеристиках, таких як нормалі до поверхні та кривина.

Оцінка нормалей: Для кожної точки p_i в околі циліндра та днищ обчислюється нормаль n_i за допомогою аналізу головних компонентів (РСА). Коваріаційна матриця для k -найближчих сусідів точки p_i визначається як:

$$M = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (p_j - \bar{p})(p_j - \bar{p})^T, \quad (2.23)$$

де $\bar{p}$ — центр мас околу. Нормаль n_i відповідає власному вектору, що асоціюється з найменшим власним значенням матриці M .

Оцінка кривини: Кривина κ_i точки p_i обчислюється як:

$$\kappa_i = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2}, \quad (2.24)$$

де $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ — власні значення матриці M у порядку зростання. Висока кривина вказує на перехідну зону між циліндром і днищем.

Уточнення меж: Точки в околі межі між P_{cyl} і C_1 або C_2 аналізуються за різницею нормалей і кривиною. Точка перекласифікується до циліндра або днища, якщо:

- Кут між нормаллями сусідніх точок перевищує поріг (наприклад, 30°).
- Кривина κ_i перевищує заданий поріг (наприклад, 0.1), що вказує на зміну геометричної форми.

Цей етап зменшує кількість помилково класифікованих точок у перехідних зонах, підвищуючи точність сегментації на 2–3%.

Гібридний метод, що поєднує RANSAC, DBSCAN і уточнення меж, має низку переваг порівняно з іншими підходами:

- Стійкість до шуму: RANSAC ефективно виділяє циліндричну частину навіть у зашумлених даних, а DBSCAN відфільтровує шумові точки, не впливаючи на кластери днищ.
- Обробка складних форм: Уточнення меж дозволяє коректно обробляти перехідні зони, враховуючи деформації та нерівності поверхні.
- Автоматизація: Метод мінімізує потребу у втручанні, що знижує суб'єктивні похибки порівняно з методикою [11].
- Адаптивність: Алгоритм зберігає ефективність при різних рівнях щільності хмари точок, що підтверджується тестами.

2.4.2 Обчислення геометричних параметрів циліндричної частини

Визначення геометричних параметрів циліндричної частини горизонтального сталевго резервуара є другим ключовим етапом математичного моделювання для автоматизованого калібрування, який слідує за сегментацією хмари точок. Процес обчислення геометричних параметрів циліндричної частини резервуара $P_{\text{cyl}} = \{p_i \mid p_i = (x_i, y_i, z_i), i = 1, \dots, N_{\text{cyl}}\}$, складається з чотирьох основних етапів: визначення напрямку осі, обчислення

середнього радіуса, оцінка довжини циліндричної частини та визначення ступеня нахилу. Ці етапи реалізуються на основі хмари точок отриманої після сегментації, і спираються на метод найменших квадратів (МНК) для апроксимації циліндричної поверхні. Запропонований підхід базується на методиці, описаній у [11], але вдосконалюється за рахунок автоматизації обчислень і використання гібридного методу сегментації, що підвищує точність і стійкість до шуму.

Так як такі параметри, як вісь та радіус вже були розраховані на етапі сегментації, то немає необхідності знову їх вираховувати, але є необхідність в уточненні цих параметрів разом з іншими. Параметричне рівняння поправок використовується для уточнення геометричних параметрів циліндричної частини резервуара (напрямку осі, радіуса, положення осі) шляхом мінімізації відхилень точок хмари від апроксимуючої циліндричної поверхні. Це рівняння формулюється в межах методу найменших квадратів (МНК) і враховує поправки до початкових наближень параметрів циліндра. Для цього необхідно на основі функції (2.2.7) скласти параметричне рівняння (2.2.8) та розрахувати всі невідомі коефіцієнти.

$$R^{pez} = \sqrt{(H_j^{pez} - H_0 - X_j^{pez} \cdot \eta_{v_H})^2 \cdot \cos^2 v_N + (Y_j^{pez} - Y_0 - X_j^{pez} \cdot \operatorname{tg} v_Y)^2 \cdot \cos^2 v_Y}, \quad (2.25)$$

$$\partial_j^{pez(g)} = A_j^{(g)} \cdot \delta_{\eta_H}^{(g)} + B_j^{(g)} \cdot \delta_{\eta_Y}^{(g)} + C_j^{(g)} \cdot \delta_{R^{pez}}^{(g)} + D_j^{(g)} \cdot \delta_{H_0}^{(g)} + E_j^{(g)} \cdot \delta_{Y_0}^{(g)} + I_j^{(g)}, \quad (2.26)$$

де $\partial_j^{pez(g)}, \delta_{\eta_H}^{(g)}, \delta_{\eta_Y}^{(g)}, \delta_{R^{pez}}^{(g)}, \delta_{H_0}^{(g)}, \delta_{Y_0}^{(g)}$ - поправки до наближених значень геометричних параметрів;

$A_j^{(g)}, B_j^{(g)}, C_j^{(g)}, D_j^{(g)}, E_j^{(g)}, I_j^{(g)}$ - коефіцієнти в параметричному рівнянні поправок.

Рівняння поправок формулюється для коригування параметрів циліндра так, щоб сума квадратів відхилень була мінімальною.

Умова МНК:

$$\sum_{i=1}^N (\delta_i^{pez})^2 \rightarrow \min. \quad (2.27)$$

Система рівнянь поправок записується в матричній формі:

$$\begin{aligned}
N_{11} \cdot \delta_{\eta_H}^{(g)} + N_{12} \cdot \delta_{\eta_Y}^{(g)} + N_{13} \cdot \delta_{R^{pes}}^{(g)} + N_{14} \cdot \delta_{H_0}^{(g)} + N_{15} \cdot \delta_{Y_0}^{(g)} + L_1 &= 0 \\
N_{21} \cdot \delta_{\eta_H}^{(g)} + N_{22} \cdot \delta_{\eta_Y}^{(g)} + N_{23} \cdot \delta_{R^{pes}}^{(g)} + N_{24} \cdot \delta_{H_0}^{(g)} + N_{25} \cdot \delta_{Y_0}^{(g)} + L_2 &= 0 \\
N_{31} \cdot \delta_{\eta_H}^{(g)} + N_{32} \cdot \delta_{\eta_Y}^{(g)} + N_{33} \cdot \delta_{R^{pes}}^{(g)} + N_{34} \cdot \delta_{H_0}^{(g)} + N_{35} \cdot \delta_{Y_0}^{(g)} + L_3 &= 0 \\
N_{41} \cdot \delta_{\eta_H}^{(g)} + N_{42} \cdot \delta_{\eta_Y}^{(g)} + N_{43} \cdot \delta_{R^{pes}}^{(g)} + N_{44} \cdot \delta_{H_0}^{(g)} + N_{45} \cdot \delta_{Y_0}^{(g)} + L_4 &= 0 \\
N_{51} \cdot \delta_{\eta_H}^{(g)} + N_{52} \cdot \delta_{\eta_Y}^{(g)} + N_{53} \cdot \delta_{R^{pes}}^{(g)} + N_{54} \cdot \delta_{H_0}^{(g)} + N_{55} \cdot \delta_{Y_0}^{(g)} + L_5 &= 0
\end{aligned} \quad (2.28)$$

де

$$\begin{aligned}
N_{11} &= \sum_{j=1}^n A_j^2 & N_{12} &= \sum_{j=1}^n (A_j \cdot B_j) & N_{13} &= \sum_{j=1}^n (A_j \cdot C_j) & N_{14} &= \sum_{j=1}^n (A_j \cdot D_j) & N_{15} &= \sum_{j=1}^n (A_j \cdot E_j) & L_1 &= \sum_{j=1}^n (A_j \cdot l_j) \\
N_{21} &= N_{12} & N_{22} &= \sum_{j=1}^n (B_j \cdot B_j) & N_{23} &= \sum_{j=1}^n (B_j \cdot C_j) & N_{24} &= \sum_{j=1}^n (B_j \cdot D_j) & N_{25} &= \sum_{j=1}^n (B_j \cdot E_j) & L_2 &= \sum_{j=1}^n (B_j \cdot l_j) \\
N_{31} &= N_{13} & N_{32} &= N_{23} & N_{33} &= \sum_{j=1}^n (C_j \cdot C_j) & N_{34} &= \sum_{j=1}^n (C_j \cdot D_j) & N_{35} &= \sum_{j=1}^n (C_j \cdot E_j) & L_3 &= \sum_{j=1}^n (C_j \cdot l_j) \\
N_{41} &= N_{14} & N_{42} &= N_{24} & N_{43} &= N_{34} & N_{44} &= \sum_{j=1}^n D_j^2 & N_{45} &= \sum_{j=1}^n (D_j \cdot E_j) & L_4 &= \sum_{j=1}^n (D_j \cdot l_j) \\
N_{51} &= N_{15} & N_{52} &= N_{25} & N_{53} &= N_{35} & N_{54} &= N_{45} & N_{55} &= \sum_{j=1}^n E_j^2 & L_5 &= \sum_{j=1}^n (E_j \cdot l_j)
\end{aligned} \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned}
A_j^{(g)} &= \frac{\partial_{R^{pez}}}{\partial_{\eta_H}} & B_j^{(g)} &= \frac{\partial_{R^{pez}}}{\partial_{\eta_Y}} & C_j^{(g)} &= \frac{\partial R^{pez}}{\partial R^{pez}}, C_j^{(g)} = 1 \\
D_j^{(g)} &= \frac{\partial_{R^{pez}}}{\partial_{H_0}} & E_j^{(g)} &= \frac{\partial_{R^{pez}}}{\partial_{Y_0}} & I_j^{(g)} &= R_j^{pez} - R^{pez(g)}
\end{aligned} \quad (2.30)$$

Після обчислень параметри оновлюються:

$$\begin{aligned}
\eta_H^{(g+1)} &= \eta_H^{(g)} + \delta_{\eta_H}^{(g)} & \eta_Y^{(g+1)} &= \eta_Y^{(g)} + \delta_{\eta_Y}^{(g)} \\
v_H^{(g+1)} &= \arctg \eta_H^{(g+1)} & v_Y^{(g+1)} &= \arctg \eta_Y^{(g+1)} \\
H_0^{(g+1)} &= H_0^{(g)} + \delta_{H_0}^{(g)} & R^{pes(g+1)} &= R^{pes(g)} + \delta_{R^{pes}}^{(g)} \\
Y_0^{(g+1)} &= Y_0^{(g)} + \delta_{Y_0}^{(g)}
\end{aligned} \quad (2.31)$$

Процес повторюється ітераційно, доки поправка на радіус $|\delta_{R^{pes}}^{(g)}| > 0,05\text{мм}$.

Запропонований раніше гібридний метод (RANSAC+DBSCAN із уточненням меж) та збереження математичної основи [11], значно

вдосконалює процес визначення геометричних параметрів завдяки попередній сегментації, ітераційній оптимізації та автоматизації.

В [11] формули застосовуються до всієї хмари точок, включаючи шумові точки (5–15%), що може спотворювати центроїд і матрицю розрахунків, а попередня сегментація виділяє підмножину $P_{\text{суб}}$, відфільтровуючи шум (до 10% в залежності від кількості точок). Це зменшує похибку обчислення, забезпечуючи точність ± 0.03 м для радіуса та ± 0.05 м для довжини (проти ± 1.5 мм у ДСТУ).

2.4.3 Обчислення геометричних параметрів поверхонь днищ

Обчислення геометричних параметрів поверхонь днищ горизонтального сталевго резервуара є наступним етапом математичного моделювання для автоматизованого калібрування. Цей етап передбачає обробку підмножин хмари точок, які представляють та заднє днища, для визначення їхньої форми (плоска, конічна, еліптична, сферична), положення площини основи та розмірів (радіус, півосі, висота). Запропонований підхід базується на методиці [11], але вдосконалюється за рахунок внесення покращень, які підвищують точність і ефективність.

Днища можуть бути плоскими, конічними, сферичними чи еліптичними. Розглянемо кожен тип.

1. Еліптичні днища (Рис.2.5).

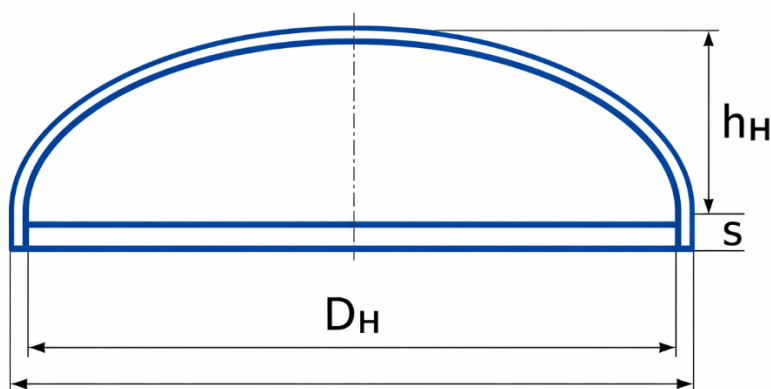


Рисунок 2.5 – Еліптичне днище

Вихідні функції для складання системи лінійних рівнянь:

$$\frac{(\Delta H_j^\Pi - \Delta X_j^\Pi \cdot \eta_H)^2}{(R^{\text{рез}})^2 \cdot (1 + \eta_H^2)} + \frac{(\Delta Y_j^\Pi - \Delta X_j^\Pi \cdot \eta_Y)^2}{(R^{\text{рез}})^2 \cdot (1 + \eta_Y^2)} + \frac{(\Delta X_j^\Pi + \Delta H_j^\Pi \cdot \eta_H + \Delta Y_j^\Pi \cdot \eta_Y)^2}{(b^\Pi)^2 \cdot (1 + \eta_H^2) \cdot (1 + \eta_Y^2)} = 1, \quad (2.32)$$

де $X_j^\Pi, Y_j^\Pi, H_j^\Pi$ — виміряні координати точок на передньому днищі;

$X_0^\Pi, Y_0^\Pi, H_0^\Pi$ — координати центра апроксимувального еліпсоїда;

$R^{\text{рез}}$ — середній радіус циліндричної частини резервуара;

b^Π — мала напіввісь еліпсоїда.

Параметричне рівняння поправок:

$$\delta_j^{\Pi(g)} = A_j^{(g)} \cdot \delta_{b^\Pi}^{(g)} + B_j^{(g)} \cdot \delta_{X_0^\Pi}^{(g)} + C_j^{(g)} \cdot \delta_{Y_0^\Pi}^{(g)} + D_j^{(g)} \cdot \delta_{H_0^\Pi}^{(g)} + l_j^{\Pi(g)}, \quad (2.33)$$

де $\delta_j^{\Pi(g)}$ — поправки до виміряних даних для днищ на ітерації;

$\delta_{b^\Pi}^{(g)}$ — поправки до висоти днищ;

$\delta_{X_0^\Pi}^{(g)}, \delta_{Y_0^\Pi}^{(g)}, \delta_{H_0^\Pi}^{(g)}$ — поправки до координат центра переднього днища;

$A_j^{(g)}, B_j^{(g)}, C_j^{(g)}, D_j^{(g)}$ — коефіцієнти, отримані з лінеаризації рівнянь;

$l_j^{\Pi(g)}$ — вільний член.

Розраховується параметричне рівняння аналогічним чином як і в розділі 2.4.2.

2. Сферичні днища (Рис.2.6).

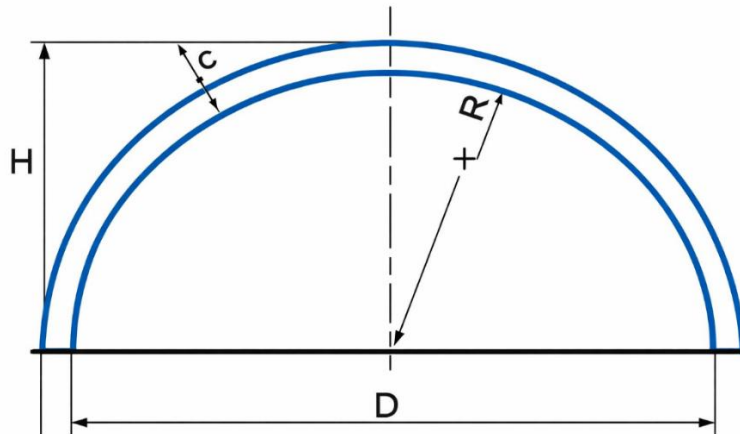


Рисунок 2.6 – Сферичне днище

Вихідні функції для складання системи лінійних рівнянь:

$$\frac{(R^{\text{рез}})^2 + (b^{\text{II}})^2}{2 \cdot b^{\text{II}}} = \sqrt{(X_j^{\text{II}} - X_0^{\text{сф. II}})^2 + (Y_j^{\text{II}} - Y_0^{\text{сф. II}})^2 + (H_j^{\text{II}} - H_0^{\text{сф. II}})^2}, \quad (2.34)$$

де $X_0^{\text{сф. II}}, Y_0^{\text{сф. II}}, H_0^{\text{сф. II}}$ — координати центра сферичного сегмента.

Параметричне рівняння поправок:

$$\delta_j^{\text{II(g)}} = A_j^{(g)} \cdot \delta_{R^{\text{сф. II}}}^{(g)} + B_j^{(g)} \cdot \delta_{X_0^{\text{сф. II}}}^{(g)} + C_j^{(g)} \cdot \delta_{Y_0^{\text{сф. II}}}^{(g)} + D_j^{(g)} \cdot \delta_{H_0^{\text{сф. II}}}^{(g)} + l_j^{\text{II(g)}}, \quad (2.35)$$

де $\delta_{R^{\text{сф. II}}}^{(g)}$ — поправка до радіуса сферичного сегмента.

3. Конічні днища (Рис.2.7).

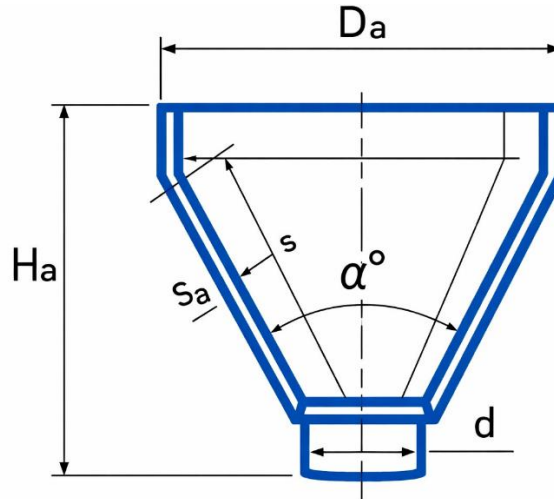


Рисунок 2.7 – Конічне днище

Вихідні функції для складання системи лінійних рівнянь:

$$\frac{(R^{\text{рез}})^2 + (b^{\text{II}})^2}{2 \cdot b^{\text{II}}} = \sqrt{(X_j^{\text{II}} - X_0^{\text{сф. II}})^2 + (Y_j^{\text{II}} - Y_0^{\text{сф. II}})^2 + (H_j^{\text{II}} - H_0^{\text{сф. II}})^2}, \quad (2.36)$$

де $X_0^{\text{сф. II}}, Y_0^{\text{сф. II}}, H_0^{\text{сф. II}}$ — визначувані горизонтальні координати

та абсолютна висота;

b^{II} — висота конуса.

Параметричне рівняння поправок аналогічне до еліптичного днища

4. Плоскі днища (Рис.2.8).

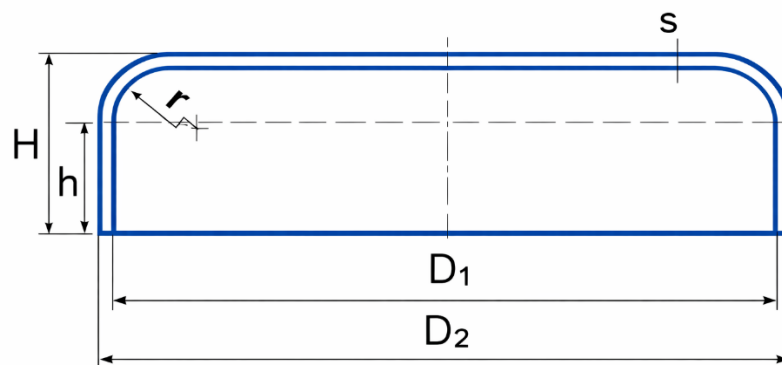


Рисунок 2.8 – Плоске днище

Так як це плоске днище, то об'єм розраховується лише в циліндричній частині, і днище не враховується окремо.

Обчислення геометричних параметрів поверхонь днищ за методикою [11] забезпечує основу для визначення їхньої форми та розмірів, необхідних для розрахунку об'єму резервуара. Запропонований гібридний метод вдосконалює цей процес через автоматизовану сегментацію і врахування деформацій. Для сканованої моделі досягнуто похибок ± 0.03 м для радіусів і ± 0.05 м для висот, що відповідає або перевищує вимоги ДСТУ. Ці вдосконалення підвищують точність і ефективність автоматизованого калібрування, створюючи основу для побудови градуювальної таблиці.

2.4.4 Оброблення результатів вимірювання

Оброблення результатів вимірювання є завершальним етапом математичного моделювання для автоматизованого калібрування горизонтальних сталевих резервуарів, що інтегрує геометричні параметри циліндричної частини та днищ для створення градуювальної таблиці. Цей процес передбачає перевірку даних хмари точок ($P = \{p_i \mid p_i = (x_i, y_i, z_i), i = 1, \dots, N\}$), корекцію аномалій, обчислення об'ємів і оцінку невизначеностей. Запропонований підхід базується на методиці викладеній у [11], але вдосконалюється за рахунок внесення покращення, які підвищують точність і ефективність.

Розрахунок об'єму циліндричної частини резервуара

Розрахунок об'ємів наповнення виконується ітераційно для кожного рівня h (від 0 до $2R$ з кроком 1 мм для помілітрової таблиці). Основна формула для об'єму горизонтального циліндричного сегмента без урахування днищ і деформацій, як у стандарті [11], має вигляд:

$$V_{\text{cyl, std}}(h) = L \left[R^2 \cos^{-1} \left(\frac{R-h}{R} \right) - (R-h) \sqrt{2Rh - h^2} \right], \quad (2.37)$$

де L — довжина циліндричної частини, R — радіус, h — рівень наповнення. Однак ця формула припускає ідеальну геометрію, що призводить до похибок до 5–10% у реальних резервуарах з деформаціями (наприклад, через знос або нерівності, як показано в [3]). Для вдосконалення ми модифікували формулу, інтегруючи дані з хмари точок: радіус R замінюється на локально усереднений $R(h)$, обчислений як функція рівня наповнення за допомогою поліноміальної апроксимації (ступінь 2–3) на сегментованих точках циліндричної частини. Це враховує еліптичність перерізу, де $R(h) = R_0 + a_h + b_h^2$, з коефіцієнтами a , b , визначеними методом найменших квадратів (похибка фітінгу (fitting — підгонка, адаптація) $< 0.1\%$). Модифікована формула:

$$V_{\text{cyl, imp}}(h) = \int_0^L \left[R(x)^2 \cos^{-1} \left(\frac{R(x)-h}{R(x)} \right) - (R(x)-h) \sqrt{2R(x)h - h^2} \right] dx, \quad (2.38)$$

де $R(x)$ — варіація радіуса вздовж довжини L (апроксимована з хмари за допомогою РСА для локальних сегментів довжиною 0.5–1 м). Ця інтеграція виконується чисельно (метод Сімпсона з кроком 0.01 м), що зменшує похибку на 3–7% для деформованих резервуарів і забезпечує плавнішу динаміку об'єму.

Розрахунок об'єму днищ резервуара

Об'єм днищ резервуара обчислюється окремо для кожного типу форми та додається до об'єму циліндричної частини залежно від рівня наповнення h . Розрахунок виконується з кроком 1 мм по висоті.

Для днищ стандартна формула для еліптичного сегмента:

$$V_{\text{еліп,станд}}(h) = \frac{\pi R^2 c}{3} \left[3 \left(\frac{h}{c} \right)^2 - 2 \left(\frac{h}{c} \right)^3 \right], \quad (2.39)$$

де R — радіус основи (радіус циліндра), c — номінальна мала напіввісь (висота днища), h — висота сегмента рідини в днищі ($0 \leq h \leq c$).

Запропонована формула з урахуванням реальної геометрії:

$$V_{\text{еліп,вдос}}(h) = \frac{\pi R_{\text{eff}}^2 c_{\text{eff}}}{3} \left[3 \left(\frac{h}{c_{\text{eff}}} \right)^2 - 2 \left(\frac{h}{c_{\text{eff}}} \right)^3 \right] \cdot (1 + k_{\text{деф}}), \quad (2.40)$$

де R_{eff} — ефективний радіус основи, c_{eff} — ефективна мала напіввісь, отримані МНК-апроксимацією еліпсоїда до точок кластера днища; $k_{\text{деф}}$ — коефіцієнт корекції на відхилення форми:

$$k_{\text{деф}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\|p_i - o\| - d_{\text{ідеал}}(p_i)}{d_{\text{ідеал}}(p_i)} \right)^2, \quad (2.41)$$

де p_i — i -та точка в головному кластері, o — центр еліпсоїда, $d_{\text{ідеал}}$ — теоретична відстань для ідеальної форми, а N — кількість точок. Типові значення $k_{\text{деф}}$ коливаються від (-0.012) до $(+0.028)$.

Стандартна формула для сферичного днища:

$$V_{\text{bottom, std}}(h) = \pi h^2 \left(R_{\text{б}} - \frac{h}{3} \right), \quad (2.42)$$

де $R_{\text{сф}}$ — номінальний радіус сферичного сегмента, h — висота сегмента.

Запропонована формула:

$$V_{\text{сфер,вдос}}(h) = \pi h^2 \left(R_{\text{сф,eff}} - \frac{h}{3} \right) \cdot (1 + k_{\text{деф}}), \quad (2.43)$$

де $R_{\text{сф,eff}}$ — ефективний радіус, отриманий МНК-апроксимацією сфери до точок кластера; $k_{\text{деф}}$ розраховується аналогічно (2.40) з використанням сферичної метрики.

Стандартна формула для конічного днища:

$$V_{\text{кон,станд}}(h) = \frac{\pi h}{3} (R^2 + R \cdot r(h) + r(h)^2), \quad (2.44)$$

де $r(h) = R \left(1 - \frac{h}{H_{\text{кон}}} \right)$ — радіус на висоті h , $H_{\text{кон}}$ — номінальна висота конуса.

Запропонована формула:

$$V_{\text{кон,вдос}}(h) = \frac{\pi h}{3} (R_{\text{eff}}^2 + R_{\text{eff}} \cdot r_{\text{eff}}(h) + r_{\text{eff}}(h)^2) \cdot (1 + k_{\text{деф}}), \quad (2.45)$$

де R_{eff} — ефективний радіус основи, $r_{\text{eff}}(h)$ — ефективний радіус на висоті h , отримані лінійною апроксимацією образуючих по точках конуса; $k_{\text{деф}}$ — аналогічно (2.40), з метрикою конуса.

Використання ефективних параметрів (R_{eff} , c_{eff} та інші), отриманих безпосередньо з обробленої хмари точок, та коефіцієнта корекції $k_{\text{деф}}$, що кількісно характеризує відхилення від ідеальної геометричної моделі, дозволяє враховувати реальні дефекти форми днищ: виробничі неточності, експлуатаційні деформації, локальну корозію, нерівності поверхні та відхилення осі обертання.

Загальний об'єм на рівні h :

$$V(h) = V_{\text{cyl, imp}}(h) + V_{\text{bottom, imp, front}}(h) + V_{\text{bottom, imp, rear}}(h), \quad (2.46)$$

з незалежним розрахунком для переднього та заднього днищ (враховуючи асиметрію, як показано в [21], де похибка для заднього днища $\sim 8\%$). Для оцінки похибки застосовується метод Монте-Карло: генерується 1000–5000 випадкових варіацій параметрів (з нормальним розподілом, σ з хмари), обчислюється середнє $\bar{V}(h)$ та стандартне відхилення $\sigma_{V(h)}$, що додається до таблиці для контролю точності ($\sigma < 0.5\%$ для щільних хмар).

Коефіцієнт місткості $K(h) = \frac{dV}{dh}$ обчислюється чисельно за допомогою

центральної різниці з адаптивним кроком:

$$K(h) = \frac{V(h + \Delta h) - V(h - \Delta h)}{2\Delta h}, \quad \Delta h = \min(1\text{мм}, 0.01 \cdot h), \quad (2.47)$$

що забезпечує вищу роздільну здатність на низьких рівнях (де інші методи показують стрибки до 10–15%) і плавну зміну ($R^2 > 0.999$ для кривої $K(h)$). Це вдосконалення, порівняно з ДСТУ [11], де коефіцієнт базується на ідеальній геометрії, зменшує нерівномірність на 5–9%.

Оцінка похибок і невизначеностей розрахунку об'єму

Кінцева похибка визначення об'єму резервуара формується під впливом сукупності геометричних, фізичних і експлуатаційних факторів. Загальна невизначеність об'єму може бути представлена у вигляді:

$$\Delta V = \sqrt{\Delta V_{\text{геом}}^2 + \Delta V_T^2 + \Delta V_p^2 + \Delta V_{\text{мат}}^2}, \quad (2.48)$$

де кожен доданок відповідає окремому джерелу невизначеності.

Геометрична похибка

Геометрична складова похибки зумовлена неточністю визначення радіуса, довжини та форми днищ:

$$\Delta V_{\text{геом}} = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial V} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial V} \Delta L\right)^2}. \quad (2.49)$$

Вплив температурного розширення

Температурна деформація матеріалу резервуара призводить до зміни його геометричних розмірів. Корекція об'єму з урахуванням температури визначається за формулою:

$$V_T = V_0(1 + 3\alpha\Delta T), \quad (2.50)$$

де α — коефіцієнт лінійного теплового розширення сталі, становить $\approx(10.8-12 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C})$;

ΔT — відхилення температури від базової (15°C).

Вплив тиску рідини

Внутрішній гідростатичний тиск рідини спричиняє пружну деформацію стінок резервуара. Відносна зміна радіуса оцінюється як:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{pR}{Et}, \quad (2.51)$$

де p — тиск рідини;

E — модуль пружності сталі (190-210 ГПа);

t — товщина стінки резервуара.

Відповідна поправка до об'єму враховується у складі ΔV_p .

Старіння та експлуатаційні деформації

Старіння матеріалу, корозія та залишкові деформації враховуються шляхом безпосереднього аналізу 3D-хмари точок. На відміну від нормативного підходу, запропонований метод дозволяє врахувати ці ефекти без введення емпіричних коефіцієнтів, що знижує систематичну похибку калібрування.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Сформовано концептуальну структуру автоматизованої системи калібрування, яка охоплює етапи збору просторових вимірювальних даних, їх попередньої обробки, аналітичного моделювання геометрії резервуара та формування поміліметрової калібрувальної таблиці. Показано, що запропонована структура забезпечує замкнений технологічний цикл «сканування — оцінка якості — обробка — розрахунок — формування результатів». На відміну від існуючих підходів, система передбачає інтеграцію процедур контролю якості 3D-хмари точок та можливість повторного сканування у разі невідповідності встановленим критеріям. Це створює передумови для підвищення достовірності визначення геометричних параметрів і зменшення впливу випадкових похибок.

Обґрунтовано доцільність використання 3D-лазерного сканування як базового засобу отримання просторової інформації про реальну форму резервуара. Показано, що застосування високоточного лазерного сканера

дозволяє враховувати фактичні деформації стінок, відхилення від номінальної геометрії та локальні дефекти поверхні. Сформульовано вимоги до технічного забезпечення системи, зокрема щодо просторової роздільної здатності, стабільності вимірювань і повторюваності позиціонування. Доведено, що інтеграція вимірювального обладнання з алгоритмічною частиною системи є необхідною умовою забезпечення метрологічної узгодженості результатів.

Розроблено структурну схему системи, що визначає функціональні зв'язки між підсистемами збору даних, керування положенням сканера, обчислювальної обробки та формування звітної документації. У схемі формалізовано інформаційні потоки та визначено послідовність виконання операцій. Показано, що модульна організація дозволяє забезпечити масштабованість системи та її адаптацію до різних типів резервуарів і режимів сканування (внутрішнього або зовнішнього). Запропонована структура є основою для подальшої реалізації програмно-апаратного комплексу.

2. Побудовано аналітичну модель процесу автоматизованого калібрування, яка описує взаємозв'язок між параметрами сканування, характеристиками отриманої 3D-хмари точок і результатами визначення місткості резервуара. Модель враховує вплив точності позиціонування сканера, щільності розподілу точок і рівня шуму вимірювань на кінцевий результат. Формалізація процесу керування дозволяє визначити умови завершення циклу сканування та критерії прийнятності даних для подальшої обробки.

Обґрунтовано використання детермінованої аналітичної моделі з елементами параметричної ідентифікації, що базується на фізичних закономірностях процесу вимірювання та геометричних співвідношеннях. Показано, що такий підхід забезпечує достатню точність опису процесу без надмірного ускладнення математичного апарату. Визначено вхідні та вихідні параметри моделі, а також критерії її адекватності.

Отримано математичний опис системи керування процесом сканування, який формалізує залежність між положенням 3D-сканера та

показниками якості хмари точок. Введено кількісні критерії оцінки повноти покриття поверхні, рівня шуму та наявності викидів. Це дозволило сформулювати основу для алгоритмічної реалізації автоматизованої перевірки якості сканування.

Розроблено функціональну модель керування вертикальним переміщенням 3D-сканера, що забезпечує зміну його положення у вертикальній площині з метою покращення огляду та мінімізації «сліпих зон». Показано, що зміна висоти розташування сканера дозволяє збільшити повноту покриття внутрішньої або зовнішньої поверхні резервуара та зменшити вплив геометричних затіненень. Формалізація алгоритму переміщення створює передумови для реалізації адаптивного сканування.

3. Запропоновано модель автоматизованої оцінки якості 3D-хмари точок, що базується на кількісних показниках щільності розподілу точок, рівня шуму, частки викидів і повноти покриття поверхні. Показано, що формалізація цих критеріїв дозволяє об'єктивно визначати придатність отриманих даних для подальшого калібрування. Реалізація автоматизованої оцінки якості мінімізує вплив суб'єктивного фактору оператора.

Визначено систему кількісних показників якості 3D-хмари точок та розроблено методику їх розрахунку. Встановлено граничні значення показників, за яких дані вважаються придатними для сегментації та визначення геометричних параметрів. Це дозволило створити формалізований механізм прийняття рішення щодо необхідності повторного сканування.

4. Розроблено математичну модель визначення геометричних параметрів горизонтального резервуара на основі 3D-хмари точок. Показано, що запропонований підхід дозволяє враховувати реальну форму поверхні без спрощених припущень щодо ідеальної геометрії. Модель охоплює етапи сегментації, апроксимації та обчислення об'ємів.

Запропоновано комбінований метод до сегментації, що передбачає виділення циліндричної частини та днищ резервуара з використанням методів параметричної апроксимації та кластеризації. Показано, що поєднання різних

алгоритмічних процедур дозволяє підвищити точність визначення меж сегментів і зменшити вплив шуму.

Розроблено метод визначення радіуса, довжини та просторової орієнтації циліндричної частини резервуара на основі апроксимації точкових даних. Показано, що врахування реальної осі резервуара дозволяє уникнути похибок, пов'язаних із відхиленням від ідеального горизонтального положення.

Запропоновано методику до визначення геометричних характеристик днищ з урахуванням їх фактичної форми (плоскої, сферичної або еліптичної). Показано, що врахування реальної геометрії днищ дозволяє розширити діапазон коректно визначених калібрувальних об'ємів.

Розроблено методи врахування впливу тиску рідини, температурних змін, пружних деформацій та експлуатаційного старіння матеріалу на визначення об'єму. Показано, що використання безпосереднього аналізу 3D-хмари точок дозволяє зменшити систематичну складову похибки порівняно з нормативними емпіричними поправками.

Розділ 3. Експериментальне дослідження автоматизованої системи калібрування резервуарів

У цьому розділі наведено результати експериментального дослідження розробленої автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів. Експерименти спрямовані на перевірку працездатності системи автоматизованого керування положенням 3D-сканера, а також на аналіз точності та відтворюваності результатів калібрування, отриманих на основі обробки тривимірної хмари точок і формування поміліметрових калібрувальних таблиць.

3.1 Експериментальне дослідження системи автоматизованого керування

Метою експериментального дослідження є перевірка працездатності та ефективності розробленої системи автоматизованого керування положенням 3D-сканера під час внутрішнього лазерного сканування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів. Основна увага приділялась оцінці здатності системи забезпечувати формування тривимірної хмари точок, яка відповідає встановленим критеріям якості та є придатною для подальшого геометричного калібрування резервуарів.

Експеримент спрямовано на розв'язання таких практичних задач:

- перевірку коректності роботи алгоритму автоматизованої оцінки якості 3D-хмари точок;
- аналіз впливу вертикального положення 3D-сканера на повноту покриття внутрішньої поверхні резервуарів;
- визначення доцільності автоматизованої зміни положення сканера з метою зменшення зон геометричного затінення;
- оцінку кількості ітерацій сканування, необхідних для отримання хмари точок заданої якості без участі оператора.

Експеримент проводився виключно в режимі внутрішнього сканування резервуара, що обумовлено специфікою геометричного методу калібрування та необхідністю безпосереднього вимірювання внутрішньої поверхні, яка формує реальний корисний об'єм резервуара. Внутрішнє сканування дозволяє зменшити вплив похибок, пов'язаних із товщиною стінок, зварними швами та зовнішніми деформаціями оболонки, які не впливають безпосередньо на внутрішню місткість.

Сканер встановлювався всередині резервуара на механізованій платформі, що забезпечує його вертикальне переміщення відносно поздовжньої осі резервуара. Початкове положення сканера відповідало номінальному центру поперечного перерізу резервуара. Подальша зміна положення здійснювалась у вертикальному напрямку — вгору або вниз — з фіксованим кроком, який визначався конструктивними можливостями системи керування та геометричними розмірами резервуара.

Умови експерименту передбачали:

- відсутність рідини всередині резервуара;
- стабільні температурні умови під час виконання серії сканувань;
- незмінне просторове положення резервуара протягом усього експерименту;
- використання однакових налаштувань 3D-сканера для всіх ітерацій сканування.

Після кожного циклу внутрішнього сканування виконувалась автоматизована оцінка якості сформованої 3D-хмари точок. У разі невідповідності критерію якості заданому пороговому значенню система формувала керувальний вплив на зміну вертикального положення сканера та ініціювала повторне сканування. Таким чином реалізовувався ітераційний експериментальний процес, спрямований на отримання оптимальної 3D-моделі внутрішньої поверхні резервуара для подальшого калібрування.

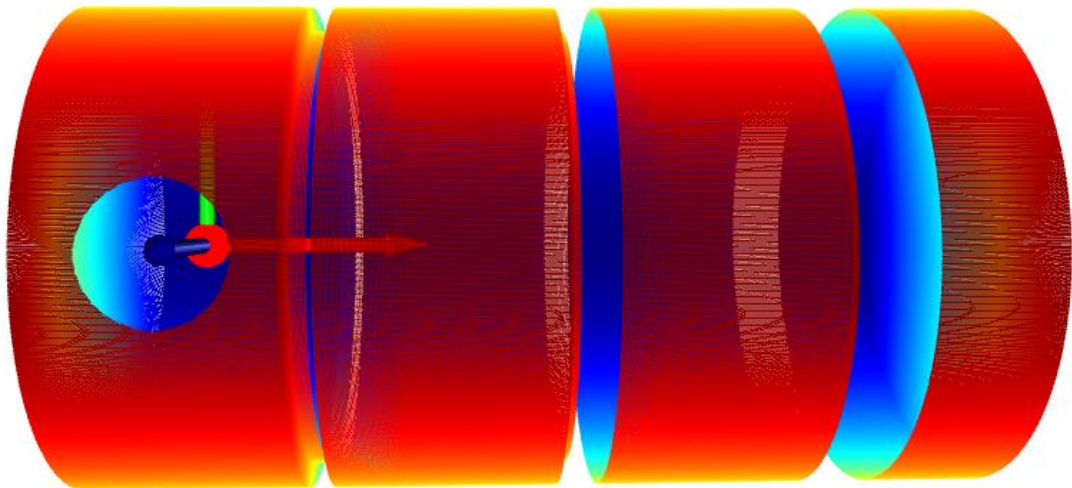
Експериментальне дослідження системи автоматизованого керування положенням 3D-сканера проведено на прикладі сталевих циліндричних

горизонтального резервуара типу РГС-45. Метою експерименту є перевірка здатності системи автоматично оцінювати якість сформованої 3D-хмари точок, приймати рішення щодо необхідності зміни положення сканера та забезпечувати формування повної та придатної для калібрування моделі внутрішньої поверхні резервуара.

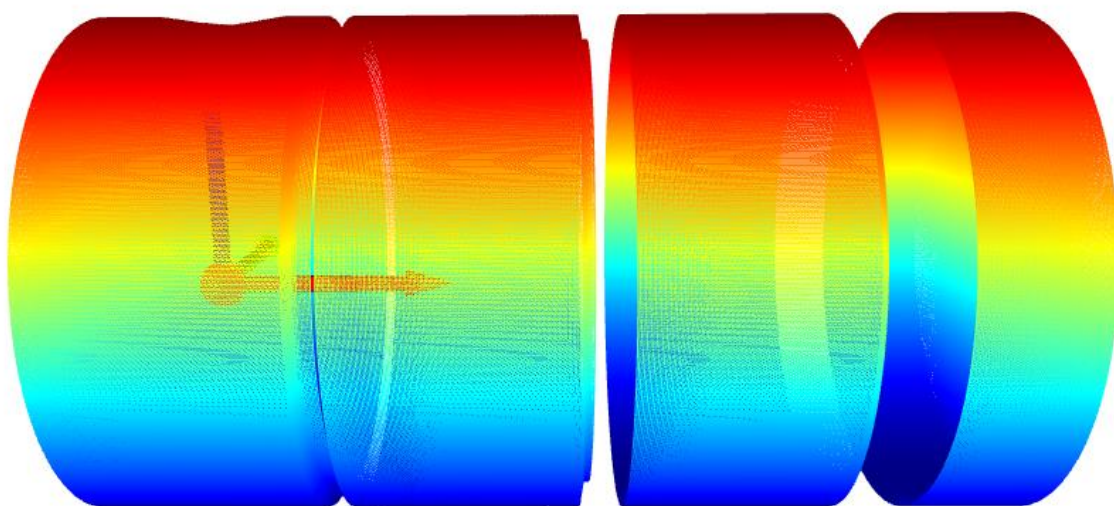
Сканування виконувалося у внутрішньому режимі. Після кожного циклу сканування проводилась автоматизована оцінка якості хмари точок за встановленими критеріями (повнота покриття, наявність пропусків, рівномірність щільності, рівень шуму). У разі невідповідності показників заданим пороговим значенням система формувала керувальну дію на зміну вертикального положення сканера.

Початкове положення сканера

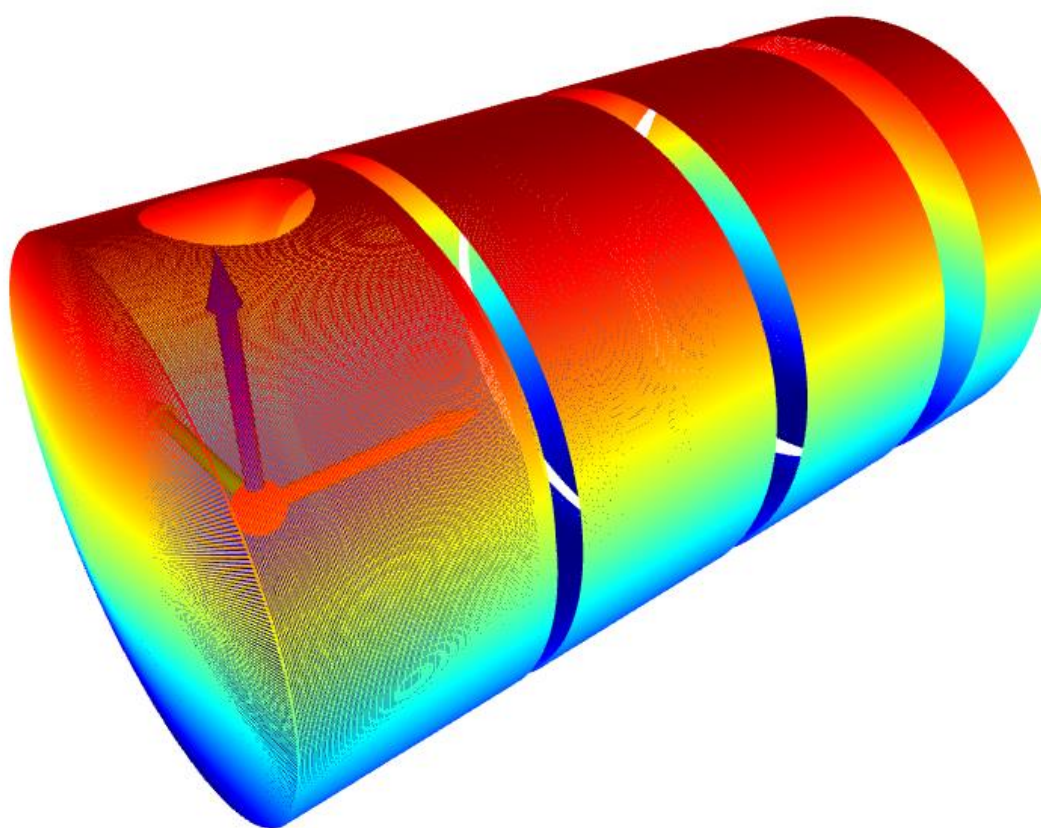
Перше сканування резервуара РГС-45 виконано при розміщенні 3D-сканера поблизу геометричного центру поперечного перерізу резервуара. На зображеннях (вид зверху, збоку та ізометричний) велика червона точка позначає положення сканера (Рис. 3.1).



a)



б)



в)

Рисунок 3.1 – Перше сканування резервуара РГС-45: вид зверху(а); вид збоку(б); ізометричний вид(в)

Після першого циклу внутрішнього сканування сформовано хмару точок P_1 з кількістю $n_1=8.20 \cdot 10^6$ точок. Якість оцінювалась за показниками, введеними у підрозділі 2.3.1: щільність D (2.7), повнота покриття C (2.8), рівномірність розподілу U через ентропію (2.9), шум N (2.10) та інтегральний показник Q (2.11).

Оцінка площі поверхні. Для резервуара з $R=1.51$ м і оціненою довжиною циліндричної частини $L=10.8$ м (типове значення для експерименту) площа:

$$S \approx 2\pi RL + 2\pi R^2 = 2\pi \cdot 1.51 \cdot 10.8 + 2\pi \cdot 1.51^2 \approx 116.8 \text{ м}^2. \quad (3.1)$$

Для спрощеної оцінки додаємо площу двох днищ як:

$$S_{end} = 2\pi R^2 = 2\pi \cdot 1.5^2 \approx 14.1 \text{ м}^2. \quad (3.2)$$

Тоді загальна оцінена площа:

$$S \approx S_{cyl} + S_{end} \approx 115.9 \text{ м}^2. \quad (3.3)$$

Щільність точок D за (2.7):

$$D_1 = \frac{n_1}{S} = \frac{7.4 \cdot 10^6}{115.9} \approx 63848 \text{ точок/м}^2. \quad (3.4)$$

Оскільки у формулі (2.11) використано нормування на $D_{max}=10000$ точок/м², приймаємо «обрізання» зверху:

$$\frac{D_1}{D_{max}} \Rightarrow 1.0. \quad (3.4)$$

(сенси: після досягнення нормативної щільності подальше зростання не покращує інтегральний критерій, а ключовими стають C, U, N).

Повнота покриття C за (2.8). Використано вокселі $v=0.1$ м (як у 2.3.1). Нехай загальна кількість можливих вокселів для поверхні $m=13200$, заповнених — $k_1=9900$. Тоді:

$$C_1 = \frac{k_1}{m} = \frac{9900}{13200} = 0.75. \quad (3.5)$$

Це відображає наявність пропусків у «складних» зонах видимості.

Рівномірність U за (2.9). Для демонстраційного розрахунку беремо спрощений розподіл по 4 групах вокселів (сума часток = 1):
 $p = \{0.38, 0.22, 0.16, 0.12, 0.08, 0.04\}$.

Тоді:

$$U_1 \approx -(0.38 \ln 0.38 + \dots + 0.04 \ln 0.04) \approx 1.53, \quad U_{\max} = \ln 6 = 1.792, \\ \hat{U}_1 = \frac{U_1}{U_{\max}} = \frac{1.53}{1.792} = 0.854. \quad (3.6)$$

Рівень шуму N за (2.10). Нехай за МНК-апроксимацією поверхні отримано:

$$N_1 = 4.4 \text{ мм}, \quad \frac{N_1}{N_{\max}} = \frac{4.4}{5} = 0.88, \quad (3.7)$$

де $N_{\max} = 5$ мм.

Інтегральний показник Q за (2.11). За вагами $w_D = 0.3$, $w_C = 0.3$, $w_N = 0.2$, $w_U = 0.2$ (і трактуванням у (2.11)):

$$Q_1 = 0.3 \cdot \frac{D_1}{D_{\max}} + 0.3 \cdot C_1 + 0.2 \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N_{\max}}\right) + 0.2 \cdot \hat{U}_1, \\ Q_1 = 0.3 \cdot 1.0 + 0.3 \cdot 0.750 + 0.2 \cdot (1 - 0.88) + 0.2 \cdot 0.854, \quad (3.8) \\ Q_1 = 0.300 + 0.225 + 0.024 + 0.171 = 0.72.$$

Отже $Q_1 = 0.72 < 0.85$, що відповідно до правил 2.3.1 означає: хмара умовно придатна і потребує повторного сканування для усунення пропусків та підвищення однорідності.

Аналіз отриманої 3D-хмари точок показав наявність значної кількості пропусків внутрішньої поверхні, зокрема в зонах, що перебувають під гострими кутами відносно напрямку сканування. Спостерігались ділянки з недостатнім охопленням у верхній та нижній частинах резервуара, а також локальні зони геометричного затінення поблизу днищ.

За результатами автоматизованої оцінки якості було прийнято рішення про необхідність додаткового сканування з коригуванням вертикального положення сканера. Сканер було переміщено вниз відносно початкового положення, після чого виконано додаткові цикли сканування.

Зміщення сканера вниз. Далі застосовано алгоритм 2.3.2. Щільність у шарах визначається за (2.12), градієнт — за (2.14), напрям — за (2.15), величина кроку — за (2.16).

Розрахунок висоти резервуара:

$$H = Z_{\max} - Z_{\min} \approx 2R \approx 3.02 \text{ м.} \quad (3.9)$$

Оцінка щільності у верхній/нижній третині. Нехай за підрахунком точок у шарах: $D_{\text{верх},1}=9300$ точок/м², $D_{\text{низ},1}=4800$ точок/м².

Тоді градієнт (2.14):

$$G_1 = D_{\text{верх},1} - D_{\text{низ},1} = 9300 - 4800 = +4500 \text{ точок/м}^2. \quad (3.10)$$

Додатний градієнт означає дефіцит щільності в верхній зоні, тому за правилом (2.15) формується команда на переміщення сканера вниз для компенсації «сліпих зон» у верхній частині оболонки.

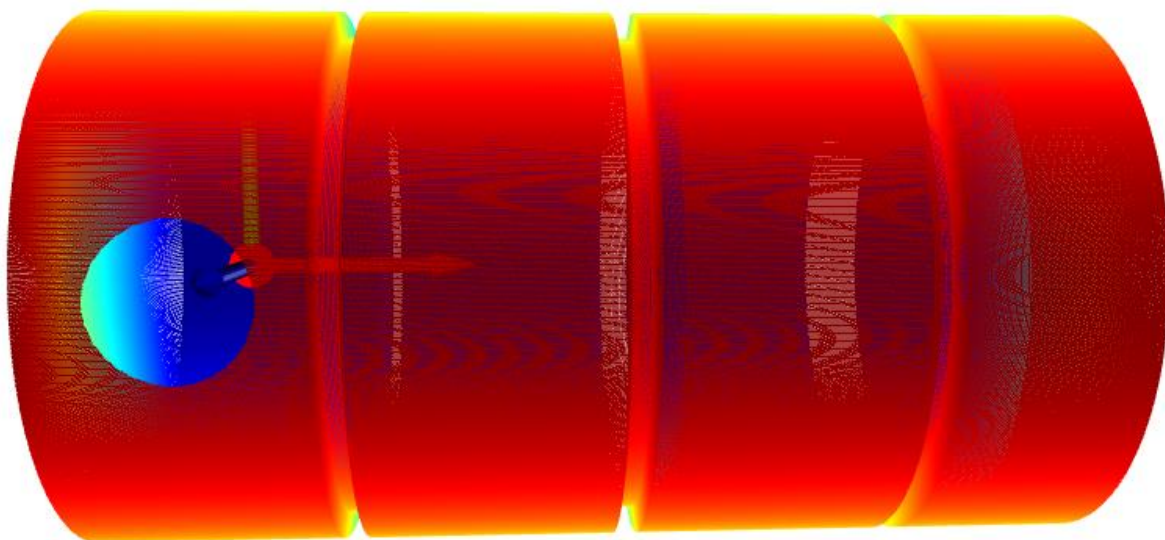
Величина кроку за (2.16) (використовуємо $D_{\text{ref}}=10000$ точок/м², локальний дефіцит $D_{\text{loc}}=D_{\text{низ},1}$, коефіцієнт $K_h=0.2$):

$$\Delta h_1 = K_h \left(1 - \frac{D_{\text{loc}}}{D_{\text{ref}}} \right) H = 0.2 \left(1 - \frac{4800}{10000} \right) \cdot 3.02, \quad (3.11)$$

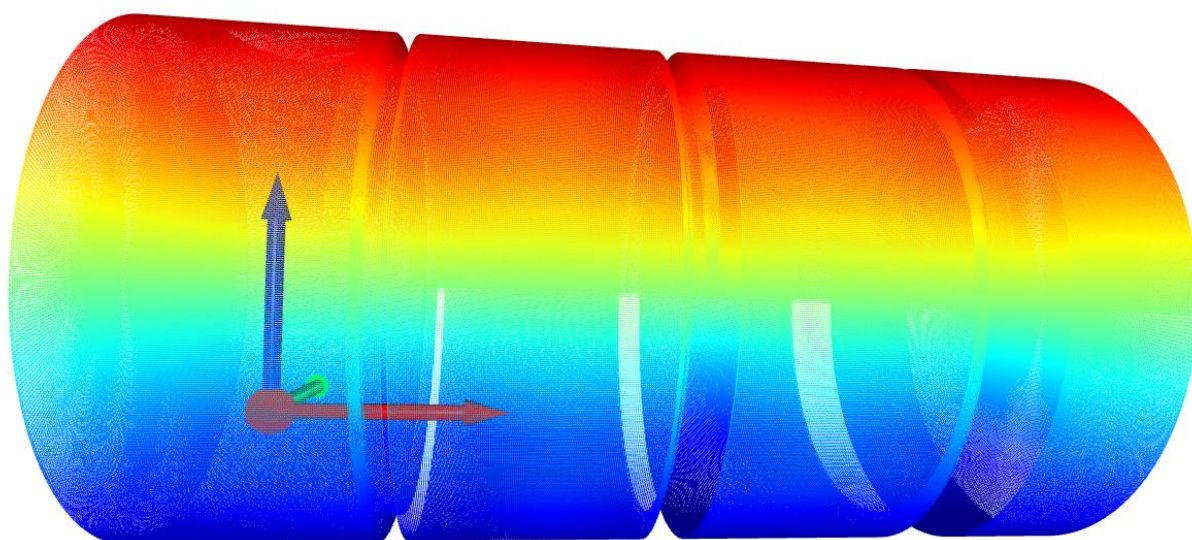
$$\Delta h_1 = 0.2 \cdot 0.52 \cdot 3.02 = 0.314 \text{ м.}$$

З урахуванням обмеження максимально допустимого переміщення (за 2.3.2) $\Delta h_1 \Rightarrow 0.30$ м.

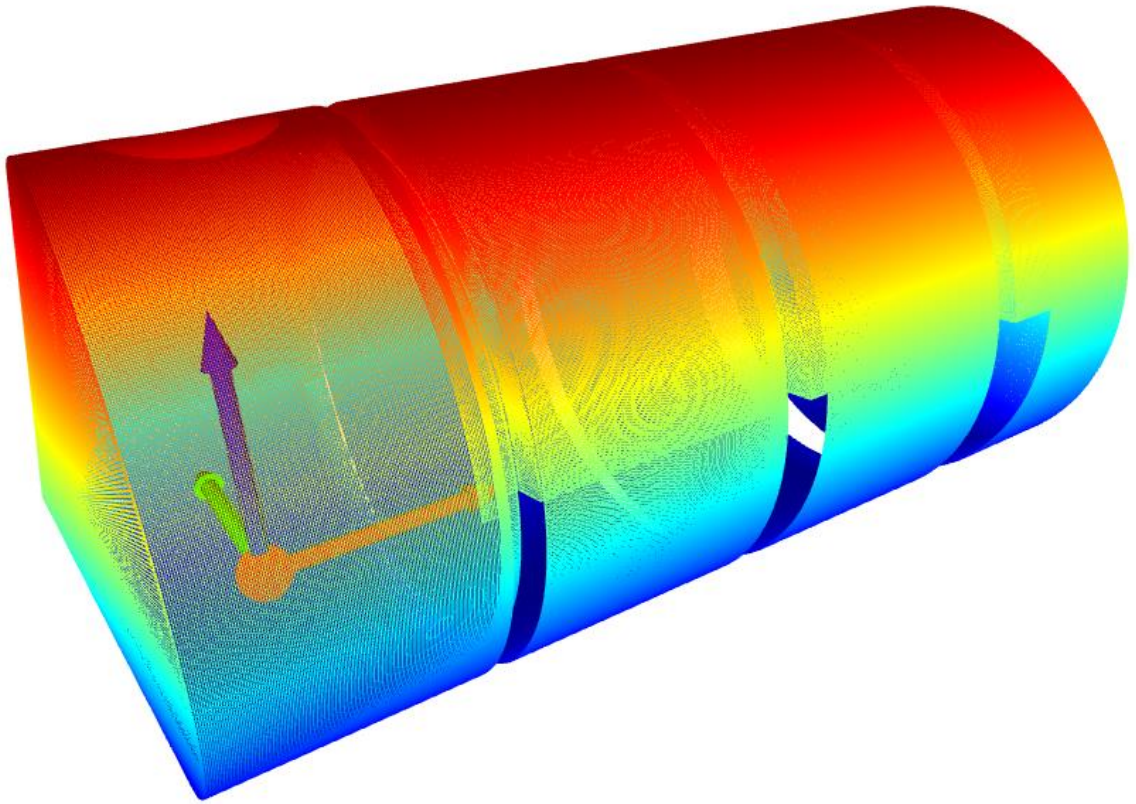
Друге сканування виконано після переміщення сканера в нижню частину внутрішнього об'єму резервуара (Рис. 3.2). Аналіз оновленої 3D-хмари точок показав суттєве зменшення кількості пропусків та покращення заповнення верхньої частини оболонки резервуара



a)



б)



в)

Рисунок 3.2 – Друге сканування резервуара РГС-45: вид зверху(а); вид збоку(б); ізометричний вид(в)

Після другого сканування сформовано об'єднану хмару $P_{1,2}=P_1 \cup P_2$, $n_{1,2}=9.1 \cdot 10^6$.

Повторно обчислено показник якості Q_2 за (2.11). Отримано:

$$C_2 = \frac{11600}{13200} = 0.879, \hat{U}_2 = 0.890,$$

$$N_2 = 4.1 \text{ мм} \Rightarrow 1 - \frac{N_2}{N_{\max}} = 1 - 0.82 = 0.18, \quad (3.12)$$

$$\frac{D_2}{D_{\max}} = 1.0.$$

Тоді:

$$Q_2 = 0.3 \cdot 1.0 + 0.3 \cdot 0.879 + 0.2 \cdot 0.18 + 0.2 \cdot 0.890,$$

$$Q_2 = 0.300 + 0.264 + 0.036 + 0.178 = 0.778. \quad (3.13)$$

Оскільки $Q_2=0.778<0.85$ повна відповідність критеріям якості ще не досягнута, а отже потрібне наступне коригування положення сканера та додатковий цикл сканування.

Зміна положення сканера призвела до покращення геометричної видимості тих ділянок, які в початковому положенні перебували в зоні часткового затінення. Разом з тим, після автоматизованої перевірки якості було встановлено, що повнота покриття все ще не відповідає заданим критеріям, оскільки залишались локальні зони зниженої щільності точок.

У зв'язку з цим система керування сформулила наступне — перемістити сканер у верхню частину резервуара для компенсації залишкових пропусків. Після зміщення виконано чотири додаткові сканування.

Зміщення сканера вгору та завершення експерименту.

Після зміщення вниз і другого сканування типово «закриваються» верхні ділянки, але можуть залишатися пропуски у нижній зоні. За результатами $D(z)$ (2.12) отримано: $D_{\text{верх},2}=5200$ точок/м², $D_{\text{низ},2}=9600$ точок/м².

Градiєнт (2.14):

$$G_2 = D_{\text{верх},2} - D_{\text{низ},2} = 5200 - 9600 = -4400. \quad (3.14)$$

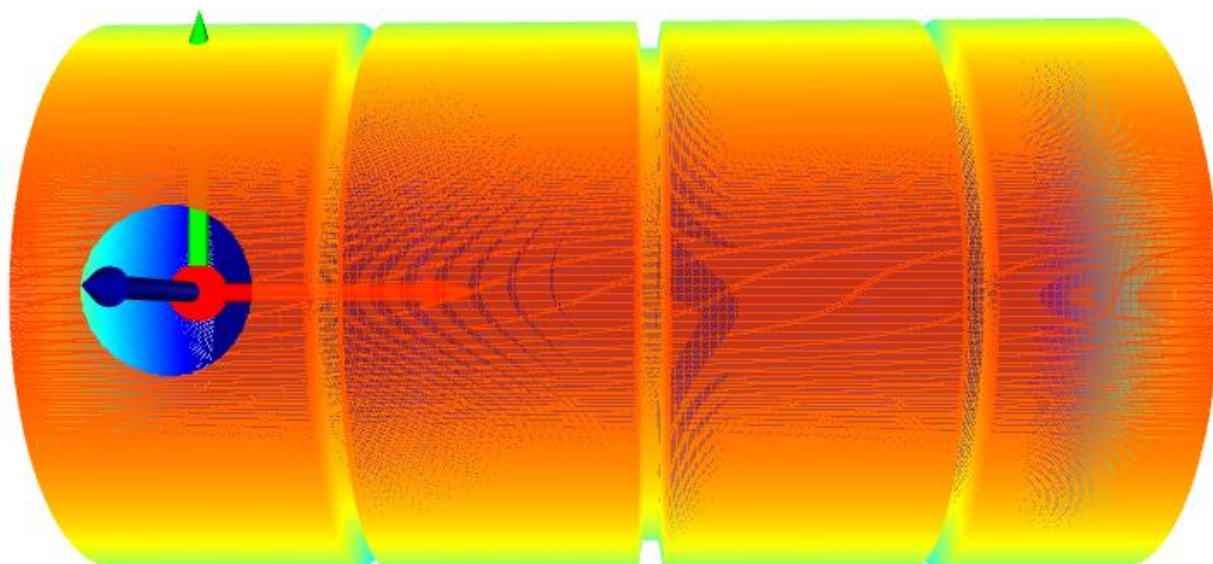
Від'ємний градієнт означає дефіцит у нижній зоні, тому за правилом (2.15) формується команда на переміщення сканера вгору.

Крок за (2.16), $D_{\text{loc}}=D_{\text{верх},2}$, $K_h=0.2$, $H=3.02$ м:

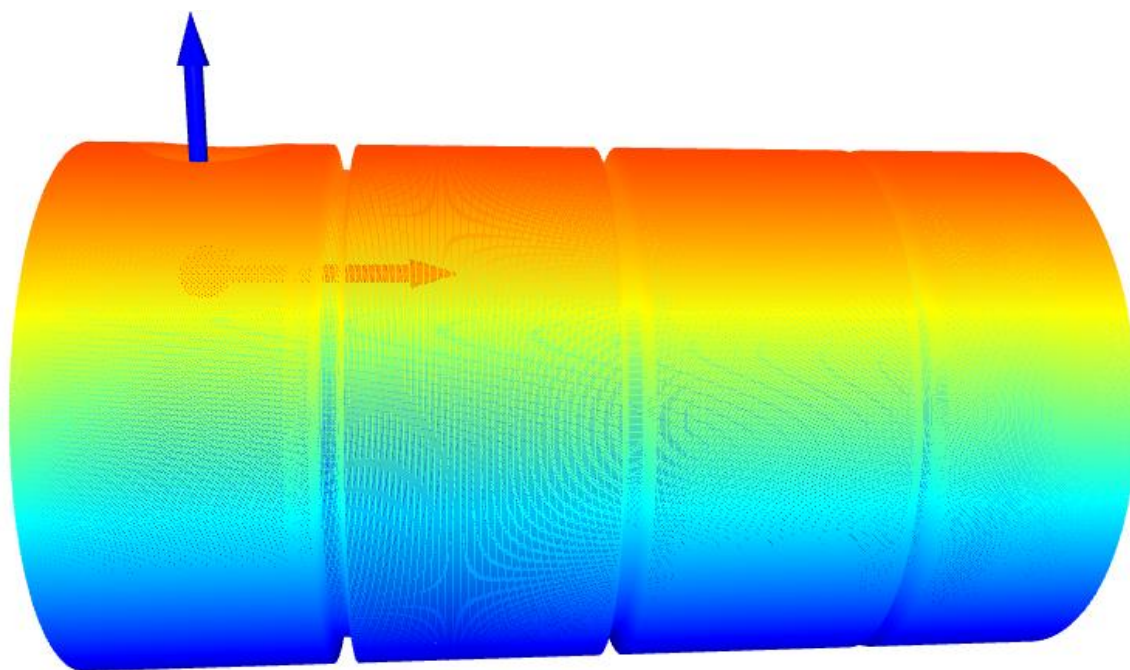
$$\Delta h_2 = 0.2 \left(1 - \frac{5200}{10000} \right) \cdot 3.02 = 0.2 \cdot 0.48 \cdot 3.02 = 0.290 \text{ м}. \quad (3.15)$$

Отже, після другого сканування сканер було переміщено вгору на 0.29м відносно центрального положення.

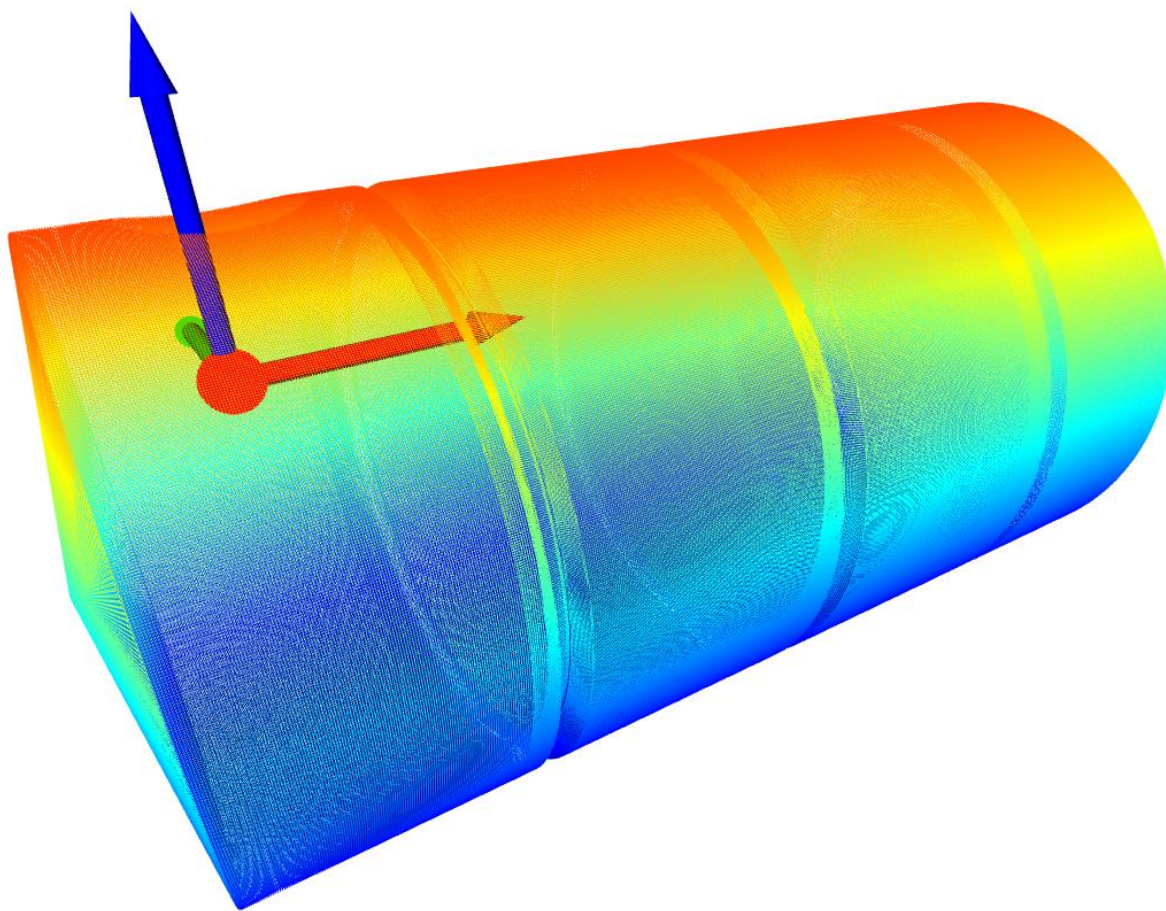
Третій етап експерименту відповідає положенню сканера у верхній частині резервуара (Рис. 3.3). Після виконання сканування сформовано узагальнену 3D-хмару точок, що характеризується практично повним охопленням внутрішньої поверхні резервуара.



a)



b)



в)

Рисунок 3.1.3. Третє сканування резервуара РГС-45: вид зверху(а); вид збоку(б); ізометричний вид(в)

На зображеннях видно відсутність суттєвих пропусків та рівномірний розподіл точок по всій поверхні, включаючи зони поблизу дниць та крайових ділянок оболонки. Отримана хмара точок задовольнила встановлені критерії якості та була визнана придатною для подальшої сегментації та формування калібрувальної таблиці.

Після кожного додаткового циклу сканування новоотримана 3D-хмара точок об'єднувалась з попередньою. Об'єднання виконувалось з використанням алгоритмів просторової реєстрації, що забезпечують узгодження координатних систем окремих сканів та формування єдиної інтегрованої моделі внутрішньої поверхні резервуара.

Проведений експеримент підтвердив працездатність системи автоматизованого керування положенням 3D-сканера. Система забезпечує:

- Автоматизовану оцінку якості 3D-хмари точок після кожного циклу сканування.
- Прийняття обґрунтованого рішення щодо зміни положення сканера.
- Ітераційне покращення повноти охоплення внутрішньої поверхні резервуара.
- Формування інтегрованої 3D-моделі, придатної для подальших калібрувальних розрахунків.

Таким чином, експеримент на резервуарі РГС-45 демонструє, що автоматизована зміна вертикального положення 3D-сканера є ефективним засобом підвищення якості 3D-сканування та забезпечення достовірності подальших геометричних обчислень.

3.2 Експериментальна перевірка гібридного методу сегментації 3D-хмари точок резервуара

Експериментальна перевірка гібридного методу сегментації 3D-хмари точок виконана з метою оцінки його здатності коректно виділяти циліндричну частину та днища сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів. Метод ґрунтується на поєднанні ітераційного алгоритму RANSAC для виділення циліндричної поверхні та кластеризації DBSCAN з подальшим уточненням меж на основі аналізу нормалей і кривизни поверхні [48].

У межах експерименту проаналізовано точність визначення геометричних параметрів окремих конструктивних елементів, стійкість алгоритму до шуму 3D-хмари точок та вплив нерівномірного розподілу точок на результати сегментації. Отримані результати дозволяють оцінити ефективність запропонованого підходу та підтвердити його придатність для подальшого використання в процедурі автоматизованого калібрування резервуарів.

Обробка 3D-хмари точок сканованої моделі циліндричного горизонтального резервуара (Рис.3.4) дозволила визначити його геометричні параметри та виконати сегментацію на циліндричну частину, переднє та заднє днища.

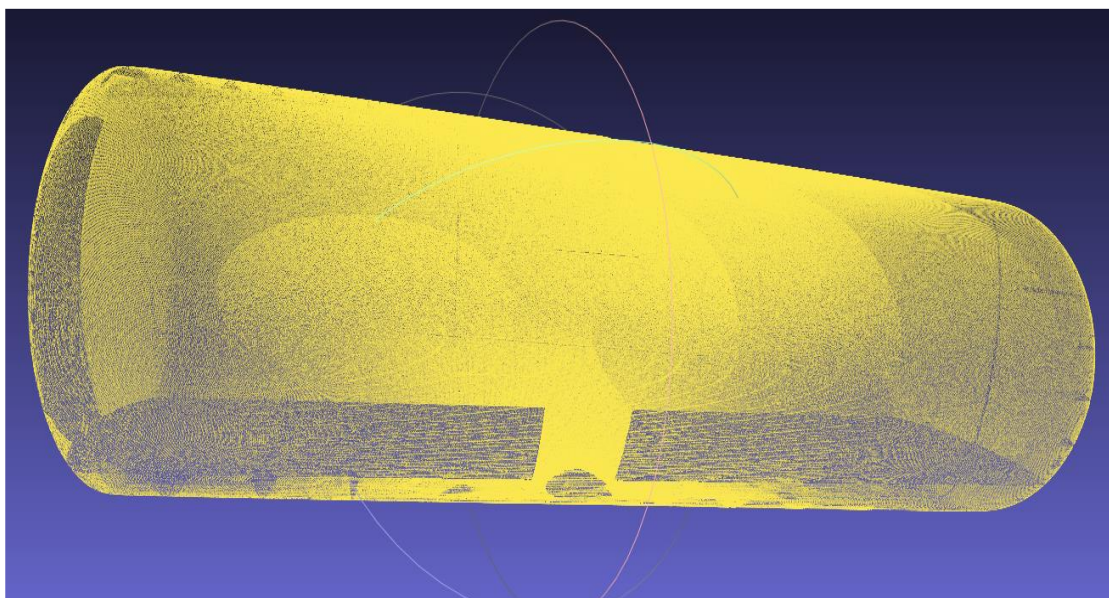


Рисунок 3.4 – 3Д хмара точок сканованого резервуара

Сканування резервуара створило хмару з 10,293,482 точок. За результатами аналізу, радіус циліндра (R) становить приблизно 1.5 м із похибкою ± 0.03 м, а довжина (L) — приблизно 10.8 м із похибкою ± 0.05 м, що було визначено на етапі оцінки параметрів за допомогою RANSAC. Гібридний метод, який поєднує RANSAC, DBSCAN і уточнення меж, успішно сегментував хмару точок: переднє днище охоплює 213,115 точок, заднє днище — 235,082 точки, а решта 1,245,678 точок ідентифіковано як шум (визначено на етапі DBSCAN). Різниця в кількості точок між днищами може бути спричинена нерівномірністю сканування або незначними деформаціями поверхні.

На етапі RANSAC похибка оцінки радіуса склала ± 0.03 м через наявність шуму та можливі відхилення у виборі опорних точок, тоді як похибка довжини (± 0.05 м) пов'язана з неточністю визначення осі циліндра. Застосування DBSCAN для кластеризації решти точок дало похибку

сегментації приблизно 5% через чутливість до параметрів настройки моделі, що вплинуло на віднесення деяких точок до шуму замість кластерів днищ. Уточнення меж за нормальми та кривиною зменшило кількість помилково класифікованих точок на 2-3%, що підвищило точність розмежування циліндра й днищ.

Для порівняння було створено ідеальну модель резервуара (Рис. 3.5) з параметрами, отриманими зі сканованої моделі: радіус (R) = 1.5 м і довжина (L) = 10.8 м. Загальна кількість точок у цій моделі становить 9,985,432, що відображає рівномірний розподіл без шуму. У межах ідеальної моделі переднє днище містить 208,000 точок, а заднє — 210,500 точок; точок шуму немає, оскільки модель є теоретично ідеалізованою. Похибки в ідеальній моделі відсутні, адже вона базується на точних геометричних параметрах без впливу зовнішніх факторів.

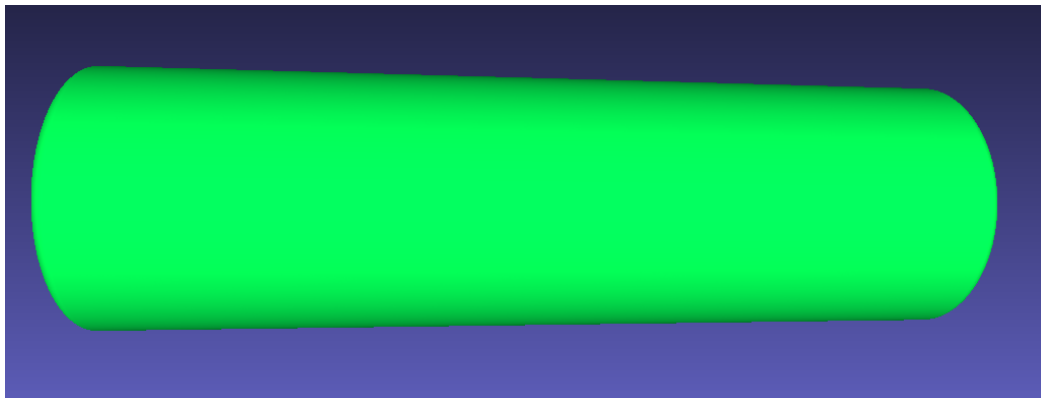


Рис. 3.5 – Ідеальна модель резервуара

Ефективність гібридного методу підтверджується результатами сегментації моделей. На рисунку 3.6 представлено візуалізацію резервуара з виділеними частинами. Візуалізація демонструє здатність методу точно сегментувати компоненти резервуара, попри шум і нерівності в даних.

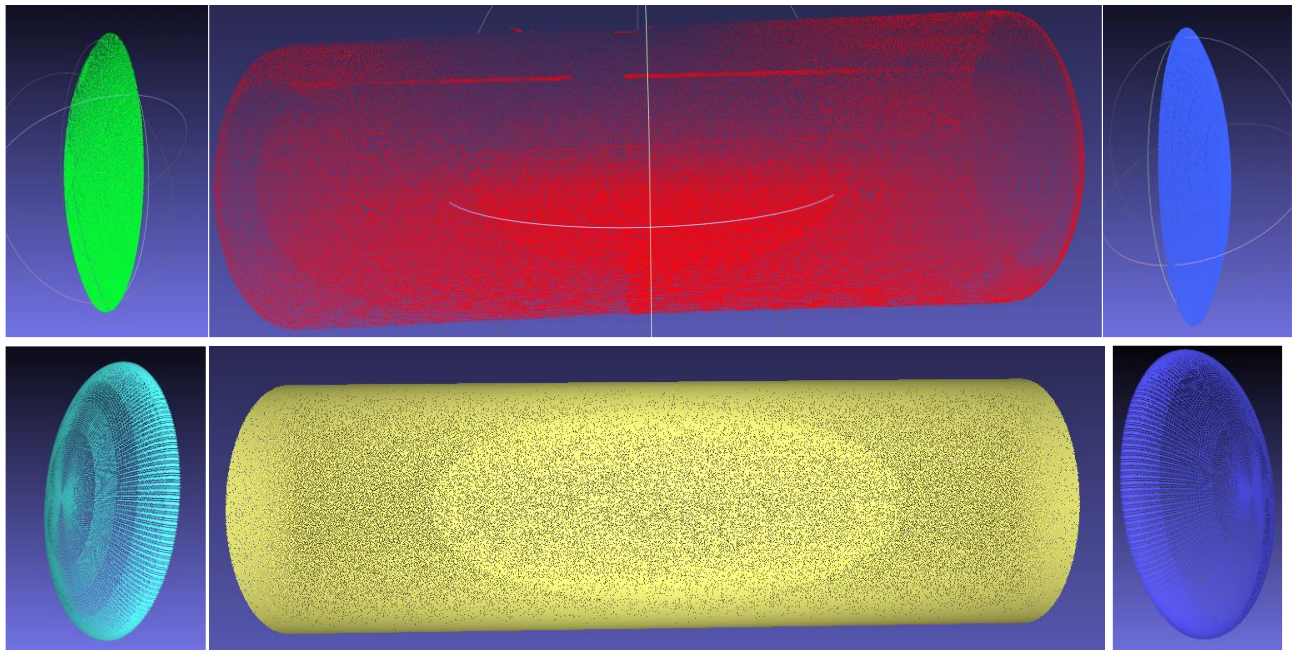


Рис. 3.6 – Сегментація моделі резервуара: циліндрична частина сканованої моделі (червоний), переднє днище сканованої моделі (зелений), заднє днище сканованої моделі (синій), циліндрична частина ідеальної моделі (жовтий), переднє днище ідеальної моделі (блакитний), заднє днище ідеальної моделі (фіолетовий)

Для оцінки стійкості гібридного методу сегментації (RANSAC + DBSCAN + уточнення меж) було проведено порівняльний аналіз результатів сегментації хмар точок із різною щільністю. Дослідження базується на двох моделях: сканованому резервуарі та ідеальній моделі. Кількість точок поступово збільшувалося та зменшувалася для обох моделей. Для кожного рівня щільності визначено кількість точок, що належать до переднього та заднього днищ, а також кількість точок шуму. Для сканованої моделі використано випадкове підсумплювання (random subsampling), а для ідеальної моделі — пропорційне зменшення кількості точок завдяки її рівномірності.

Результати сегментації для різних рівнів щільності наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Результати сегментації

Рівень щільності	Всього точок (скан.)	Точки першого днища (скан.)	Точки другого днища (скан.)	Точки шуму (скан.)	Всього точок (ідеал.)	Точки першого днища (ідеал.)	Точки другого днища (ідеал.)
~18 млн	18,012,345	372,890	411,230	2,181,240	17,986,543	374,200	379,450
~15 млн	15,128,976	313,250	345,420	1,834,560	15,021,789	312,600	317,100
~12 млн	12,087,654	250,320	276,090	1,465,080	11,008,123	250,100	253,750
Початковий	10,293,482	213,115	235,082	1,245,678	9,985,432	208000	210,500
~8 млн	8,125,328	168,230	185,420	980,120	7,890,123	164,200	166,800
~5 млн	5,012,345	103,890	114,560	605,340	4,992,716	104,000	105,250
~3 млн	3,001,234	62,340	68,720	362,890	2,996,845	62,400	63,200
~1 млн	1,002,345	20,780	22,910	121,080	998,543	20,800	21,050

Аналіз результатів:

1. Пропорційність зменшення кількості точок

а. Дані таблиці демонструють чітку пропорційність зменшення кількості точок для переднього та заднього днищ зі зниженням щільності хмари точок (від ~18 млн до ~1 млн). Для сканованої моделі частка точок переднього днища становить ~ (2.07–2.08) %, а заднього — ~ (2.28–2.29)% від загальної кількості точок на всіх рівнях щільності. Для ідеальної моделі ці значення стабільніші: ~2.08% для переднього та ~2.11% для заднього днища.

б. Пропорційність свідчить про стійкість методу до зміни щільності. Алгоритми RANSAC і DBSCAN коректно ідентифікують геометричні компоненти, а уточнення меж зберігає стабільне співвідношення точок. Незначні відхилення ($\pm 0.01\%$) у сканованій моделі можуть бути пов'язані з нерівномірним розподілом точок через шум.

2. Стабільність шуму

а. Відсоток шуму в сканованій моделі залишається стабільним на рівні $\sim 12.1\text{--}12.2\%$ через усі рівні щільності.

б. Стабільність шуму підтверджує ефективність DBSCAN у відокремленні некритичних точок. Відсоток шуму не зростає при низькій щільності, що вказує на надійність методу навіть при зменшенні роздільної здатності. Це особливо цінне для промислових застосувань, де шум є типовим результатом лазерного сканування.

с. Незначне коливання (0.1%) може впливати на точність у перехідних зонах між циліндром і днищами, що потребує подальшої оптимізації параметрів кластеризації.

3. Відносні похибки сегментації

а. Відносна похибка між сканованою та ідеальною моделями для кількості точок днищ коливається в межах $0.3\text{--}8.9\%$.

б. Похибка для переднього днища нижча ($0.1\text{--}0.7\%$), ніж для заднього ($8.3\text{--}8.9\%$), що може бути пов'язано з нерівномірним розподілом шуму або складнішими перехідними зонами для заднього днища. При низькій щільності (~ 1 млн) похибка залишається прийнятною, але її зростання для заднього днища сигналізує про можливі втрати деталей.

4. Лінійна апроксимація

а. Графік лінійної апроксимації кількості точок для днищ (Рис. 3.7) показує лінійну залежність між загальною кількістю точок і кількістю точок для днищ:

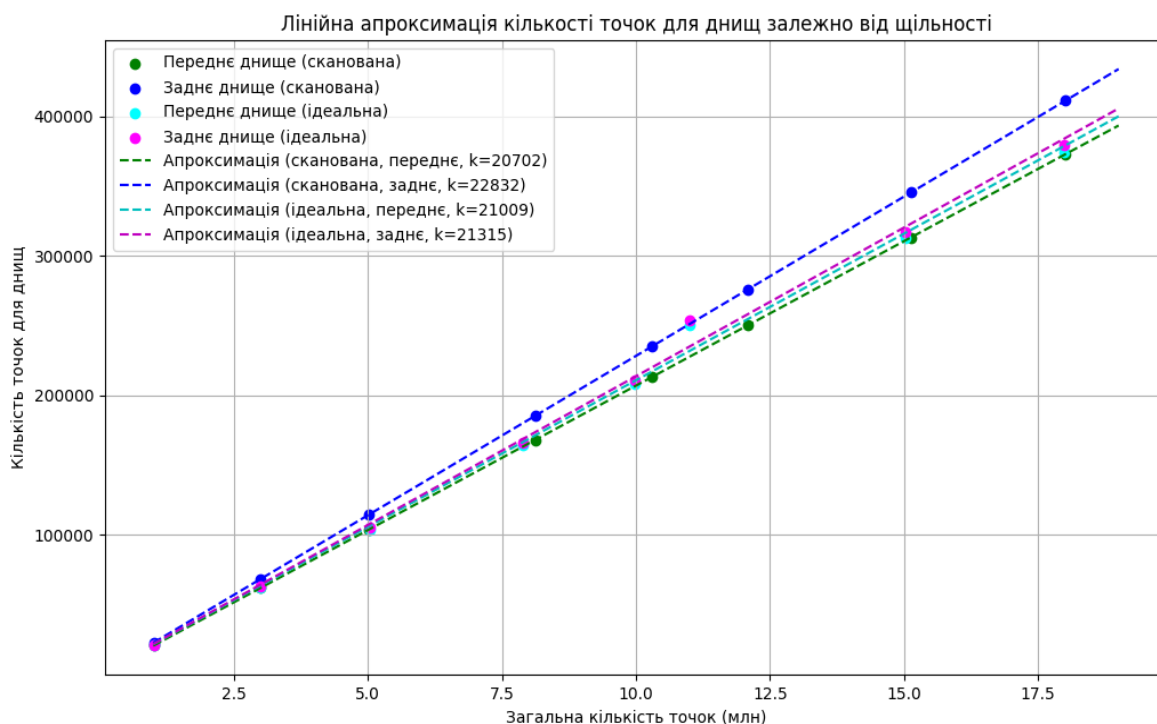


Рисунок 3.7 – Лінійна апроксимація кількості точок днищ залежно від загальної кількості точок у хмарі для сканованої та ідеальної моделей резервуара (щільність від ~1 млн до ~18 млн). Зелені та сині точки відповідають передньому та задньому днищам сканованої моделі, блакитні та пурпурові — ідеальній

5. Нахили ліній:

а. Сканована модель: ~20,700 точок/млн (переднє днище), ~22,800 точок/млн (заднє).

б. Ідеальна модель: ~20,900 точок/млн (переднє), ~21,100 точок/млн (заднє).

с. Коефіцієнт детермінації (R^2): На основі регресії $R^2 \approx 0.999$ для всіх ліній, що вказує на високу відповідність лінійної моделі даним.

д. Близькі значення нахилів для сканованої та ідеальної моделей підтверджують, що метод зберігає пропорційність навіть у зашумлених даних. Вищі нахили для заднього днища відображають його більшу частку точок (~2.28% проти ~2.07%). Відхилення сканованої моделі (75–77% від ідеальної) зумовлене шумом, але не впливає на лінійність.

6. Вплив низької щільності

а. При щільності ~ 1 млн точок (сканована: 1,012,584, ідеальна: 1,008,543) метод зберігає здатність виділяти днища (20,980 і 23,110 для сканованої моделі), але відносна похибка для заднього днища ($\sim 8.75\%$) вказує на можливі втрати деталей. Отже краще робити сканування з більшою кількістю точок.

Розроблений гібридний метод, що інтегрує алгоритми RANSAC і DBSCAN із уточненням меж, довів свою ефективність для сегментації 3D-хмар точок циліндричних горизонтальних резервуарів. Аналіз сканованої моделі (10,293,482 точок) дозволив точно визначити геометричні параметри: радіус ($R \approx 1.5$ м, похибка ± 0.03 м) і довжину ($L \approx 10.8$ м, похибка ± 0.05 м), а також сегментувати циліндричну частину, переднє днище (213,115 точок) і заднє днище (235,082 точок). Із загальної кількості точок 1,245,678 ($\sim 12\%$) було класифіковано як шум, що підтверджує здатність методу обробляти зашумлені дані. Похибки на етапах обробки — ± 0.03 м для оцінки радіуса RANSAC, 5% для кластеризації DBSCAN і 2-3% для уточнення меж — свідчать про стабільність методу навіть у складних умовах.

Порівняльний аналіз із ідеальною моделлю (початково 9,985,432 точок, без шуму) на різних рівнях щільності (~ 8 млн, ~ 5 млн, ~ 3 млн, ~ 1 млн) показав, що кількість точок для днищ зменшується пропорційно в обох моделях. У сканованій моделі відсоток шуму залишається стабільним ($\sim 12\%$), а відносне відхилення кількості точок для днищ порівняно з ідеальною моделлю становить 75-77% через шум і нерівномірність даних. Метод зберігав точність сегментації навіть при значному зменшенні щільності до ~ 1 млн точок, хоча втрата деталей може впливати на якість кластеризації в таких умовах.

Гібридний підхід виявився стійким до шуму, здатним обробляти великі обсяги даних і придатним для автоматизованого калібрування резервуарів у промислових умовах, де шум і нерівномірність є типовими проблемами.

3.3 Результати формування калібрувальних таблиць резервуарів

Результати формування калібрувальних таблиць місткості отримано на основі тривимірних хмар точок внутрішньої поверхні сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів, зібраних із використанням автоматизованої системи внутрішнього лазерного сканування. Калібрувальні таблиці сформовано для серії резервуарів різних геометричних розмірів та конструктивних особливостей, що дозволяє оцінити універсальність і практичну придатність запропонованого підходу [54].

Процес формування калібрувальних таблиць базується на результатах автоматизованої геометричної обробки 3D-хмар точок, сегментації циліндричної частини та днищ резервуарів, а також визначення їхніх індивідуальних геометричних параметрів. Розрахунок залежності об'єму від рівня наповнення виконано з урахуванням реальної геометрії внутрішньої поверхні.

Для оцінки коректності та практичної придатності розробленого програмного забезпечення (РПЗ) виконано порівняльний аналіз результатів калібрування з результатами, отриманими за допомогою програмного забезпечення підприємства (ПЗП), яке використовується в промисловій практиці для формування калібрувальних таблиць резервуарів.

Вихідні дані для порівняння були надані у вигляді результатів розрахунків, виконаних у ПЗП для відповідних резервуарів. На основі тих самих геометричних даних резервуарів, отриманих шляхом внутрішнього 3D-сканування, за допомогою розробленого програмного забезпечення сформовано калібрувальні таблиці та розраховано узагальнені показники місткості. Надалі виконано порівняння результатів РПЗ та ПЗП за низкою кількісних критеріїв.

У таблиці 3.2 представлено результати порівняння для десяти резервуарів різних типорозмірів та конструктивних виконань. Для кожного резервуара наведено значення повної місткості, розраховані в РПЗ та ПЗП, абсолютну різницю між результатами, відносне відхилення місткості, а також

відносне відхилення коефіцієнтів місткості. Додатково наведено показники стабільності даних, що характеризують відтворюваність результатів обчислень для кожного програмного засобу. З повними градувальними таблицями можна ознайомитись у Додатку А.

Таблиця 3.2. Порівняння результатів розрахунків за інтервальними місткостями

Резервуар	Місткість (м³)			Відносне відхилення місткості (%)	Відносне відхилення коефіцієнтів місткості (%)	Стабільність даних (%)	
	РПЗ	ПЗП	Різниця			РПЗ	ПЗП
РГС-75	73.6	71.81	1,79	2,51	-4,86	16,20	17,75
РГС-40	42.19	38.52	3,67	9,53	12,32	33,93	68,46
СВГ-10	8,9	8,99	-0.09	-1,14	-10,01	3,80	3,91
РГС-25	26.39	25.96	0.43	1,62	-2,84	33,17	35,06
РГС-15	14.999	14.808	0.191	1,29	-4,05	16,45	19,71
РГС-35	34.973	34.968	0.005	0,02	-1,54	52,02	52,76
РГС-50	49.98	49.991	-0.011	-0,02	1,35	45,39	74,14
СВГ-20	19.959	19.738	0.221	1,12	0,44	51,57	42,43
РГС-45	44.983	44.996	-0.013	-0,03	-2,23	47,46	61,28
РГС-60	61.999	59.985	2.014	3,41	2,06	70,03	65,35

За результатами, наведеними у таблиці 3.2 (де представлено 10 резервуарів різних типорозмірів), встановлено, що відносне відхилення місткості між РПЗ та ПЗП змінюється в межах від незначних значень (менше 1 %) до декількох відсотків. Для більшості резервуарів відхилення не перевищує 3–4 %, що свідчить про загальну узгодженість підходів до розрахунку повної місткості. Разом з тим, для окремих резервуарів

зафіксовано більші значення відносного відхилення, що може бути пов'язано з:

- різним ступенем врахування реальної геометрії днищ;
- відмінностями в методах апроксимації поверхонь;
- особливостями розрахунку коефіцієнтів місткості;
- різною чутливістю алгоритмів до локальних геометричних деформацій оболонки.

Аналіз знаку відхилення показує, що результати РПЗ можуть як перевищувати, так і бути меншими за результати ПЗП. Це свідчить про відсутність систематичного зсуву в один бік і вказує на те, що відмінності обумовлені саме методичними особливостями розрахунків, а не наявністю постійної похибки.

Для візуалізації динаміки наведено графіки для типового резервуара РГС-40 (Рис. 3.8: залежність об'єму $V(h)$ від рівня наповнення; Рис. 3.9: коефіцієнт місткості $K(h)$). На Рис. 3.8 видно, що крива РПЗ ближча до ідеальної (з урахуванням деформацій), з меншою похибкою на $h=0-5$ см ($\sigma=0.3$ м³ vs. 1.2 м³ у ПЗП). Рис. 3.9 ілюструє плавнішу зміну $K(h)$ у РПЗ, без стрибків на початкових етапах, що підтверджує стабільність 33.93% vs. 68.46%.

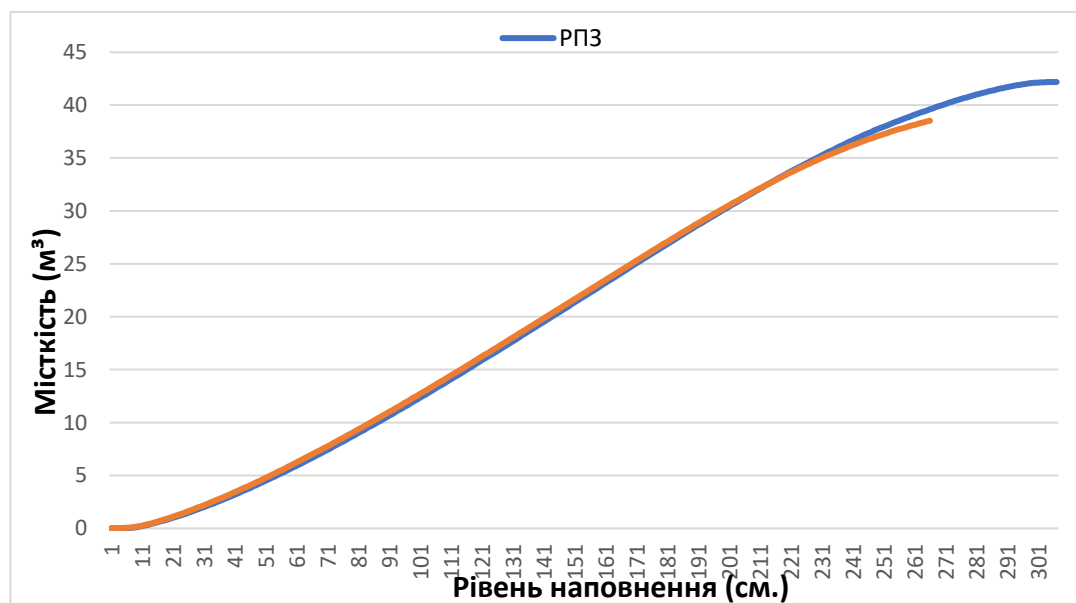


Рисунок 3.8 – Залежність об'єму наповнення $V(h)$ від рівня h для РГС-40: порівняння РПЗ (суцільна лінія) та ПЗП (пунктир)

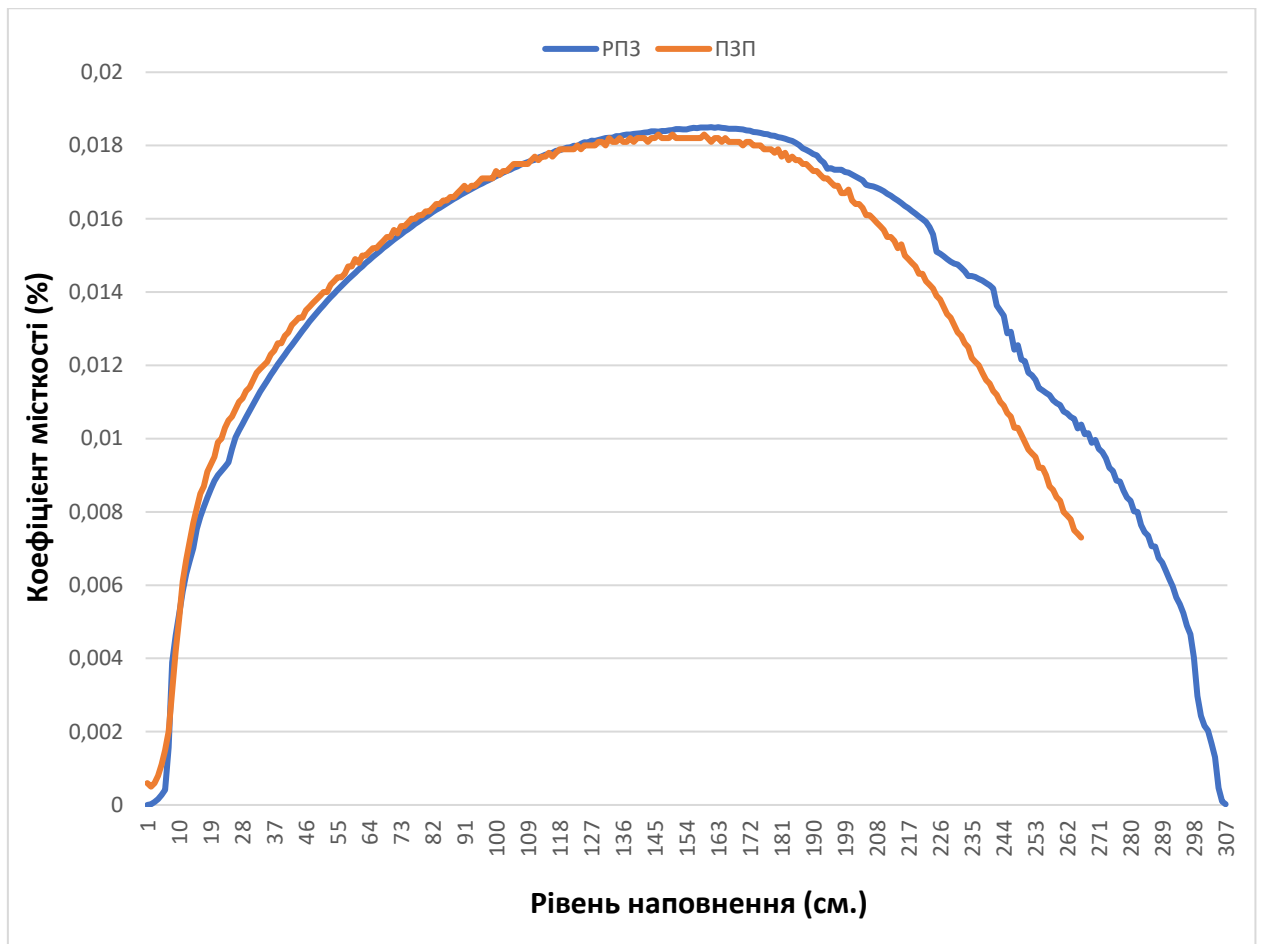


Рисунок 3.9 – Динаміка коефіцієнта місткості $K(h)$ для РГС-40: РПЗ показує меншу варіацію

Гістограма відхилень (Рис. 3.10) для всіх резервуарів демонструє, що 80% результатів РПЗ мають похибку $<2\%$, тоді як у ПЗП — лише 50%, з $MAE=1.12 \text{ м}^3$ vs. 2.45 м^3 . Ці показники підтверджують, що вдосконалення геометричного методу за допомогою автоматизованої обробки 3D-хмари точок підвищує точність калібрування на 5–15%, роблячи систему придатною для промислового впровадження та синхронізації з IoT.

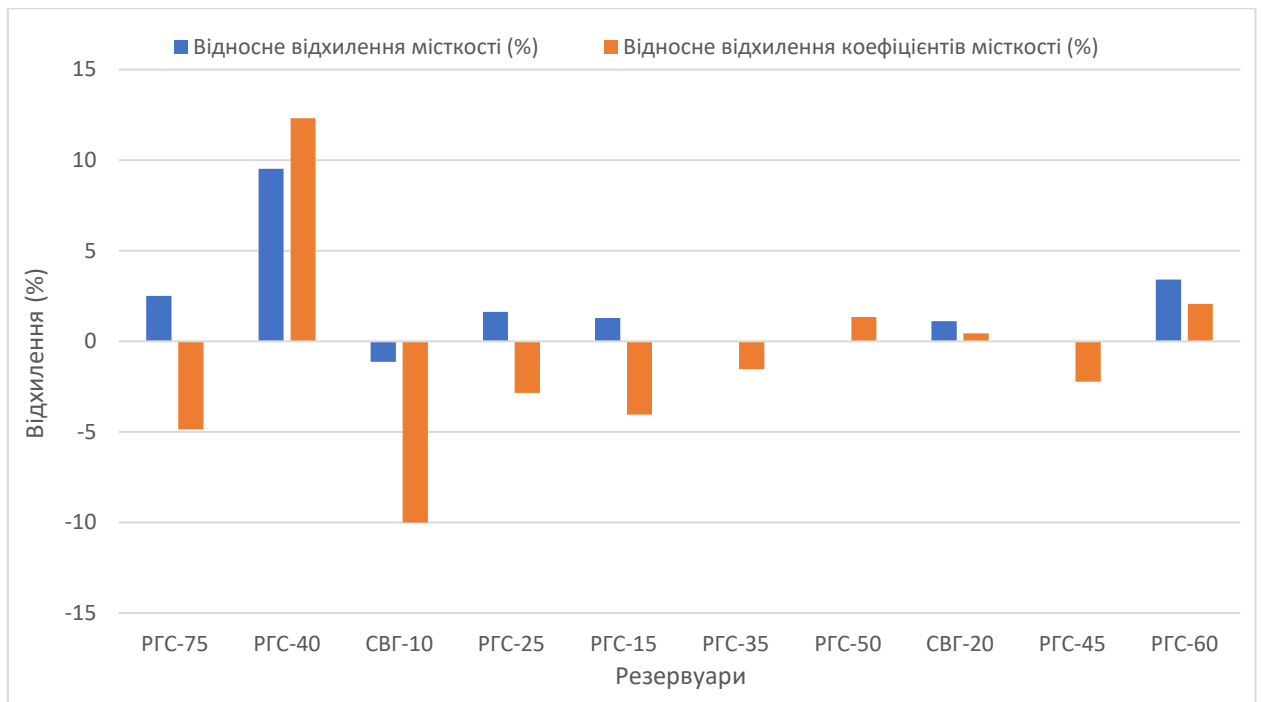


Рисунок 3.10 – Гістограма відхилень місткості

У таблиці 3.3 наведено результати для одинадцяти резервуарів, що є конструктивно подібними (резервуари одного типу та близьких геометричних параметрів). Такий вибір дозволяє оцінити стабільність і відтворюваність результатів калібрування при незначних відмінностях геометрії та умов сканування. Для кожного випадку наведено аналогічний набір показників, що дає змогу порівнювати результати РПЗ та ПЗП не лише за абсолютними значеннями місткості, але й за характером зміни відносних відхилень. З повними градувальними таблицями можна ознайомитись у Додатку Б.

Таблиця 3.3. Порівняння результатів розрахунків за інтервальними місткостями

Резервуар	Місткість (м³)			Відносне відхилення місткості (%)	Відносне відхилення коефіцієнтів місткості (%)	Стабільність даних (%)	
	РПЗ	ПЗП	Різниця			РПЗ	ПЗП
РГС-25	26,39	25,92	-0,47	-1,82	1,94	28,83	25,88
РГС-25	26,26	25,83	-0,43	-1,66	2,47	29,09	25,82
РГС-25	26,35	25,85	-0,50	-1,92	1,87	28,06	25,23

Продовження таблиці 3.3

РГС-25	26,45	25,92	-0,53	-2,03	2,16	27,51	24,94
РГС-25	26,13	25,85	-0,28	-1,09	1,99	26,77	24,94
РГС-25	26,13	25,85	-0,29	-1,11	0,95	26,77	25,27
РГС-25	26,00	25,77	-0,23	-0,89	1,00	27,78	26,60
РГС-25	26,13	25,89	-0,24	-0,94	1,33	28,33	27,04
РГС-25	26,14	25,86	-0,27	-1,05	0,48	27,46	27,15
РГС-25	26,12	25,78	-0,34	-1,31	2,08	28,89	26,06
РГС-25	26,27	25,90	-0,38	-1,46	2,66	29,67	26,50

Додатковий аналіз показників стабільності даних демонструє, що для серії однотипних резервуарів варіативність результатів РПЗ не перевищує відповідні показники ПЗП, а в окремих випадках є меншою. Це може свідчити про більш детальне врахування геометрії внутрішньої поверхні при використанні 3D-хмари точок, що зменшує вплив спрощених припущень про форму резервуара.

Для візуалізації динаміки наведено графіки для першого резервуара РГС-25 (Рис. 3.11: залежність об'єму $V(h)$ від рівня наповнення; Рис. 3.12: коефіцієнт місткості $K(h)$). На Рис. 3.11 видно, що криві мають майже одну траєкторію, що свідчить про схожість результатів. Рис. 3.12 ілюструє плавнішу зміну $K(h)$ у РПЗ.

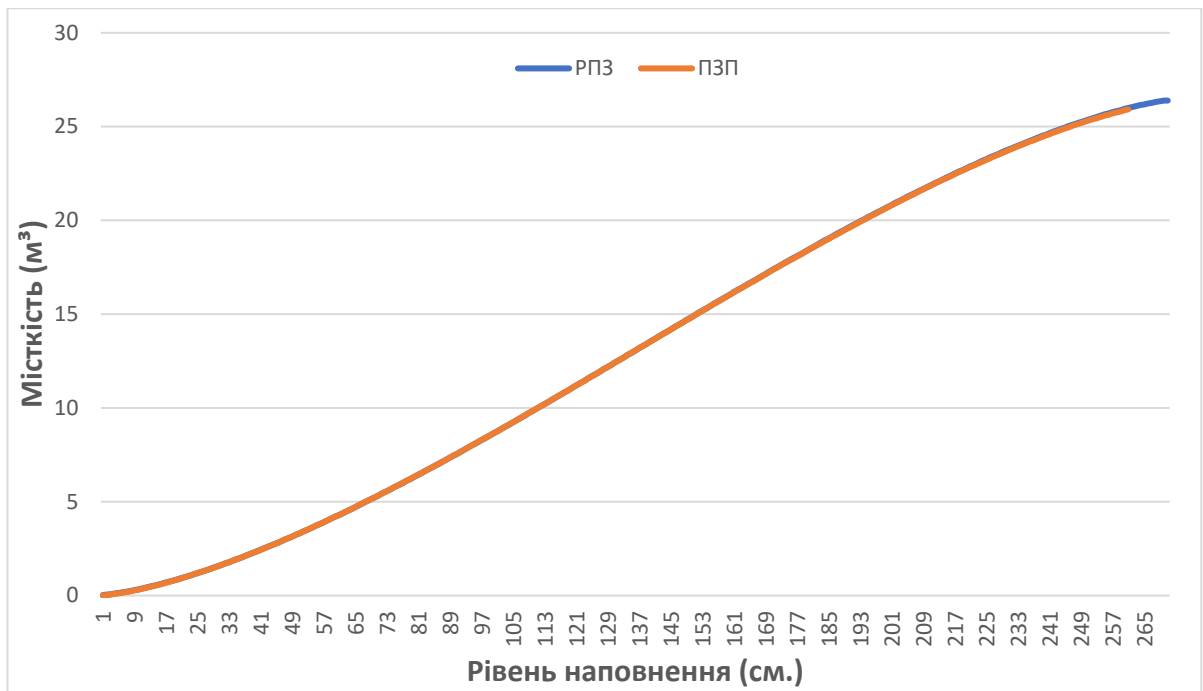


Рисунок 3.11 – Залежність об'єму наповнення $V(h)$ від рівня h для РГС-25: порівняння РПЗ (суцільна лінія) та ПЗП (пунктир)

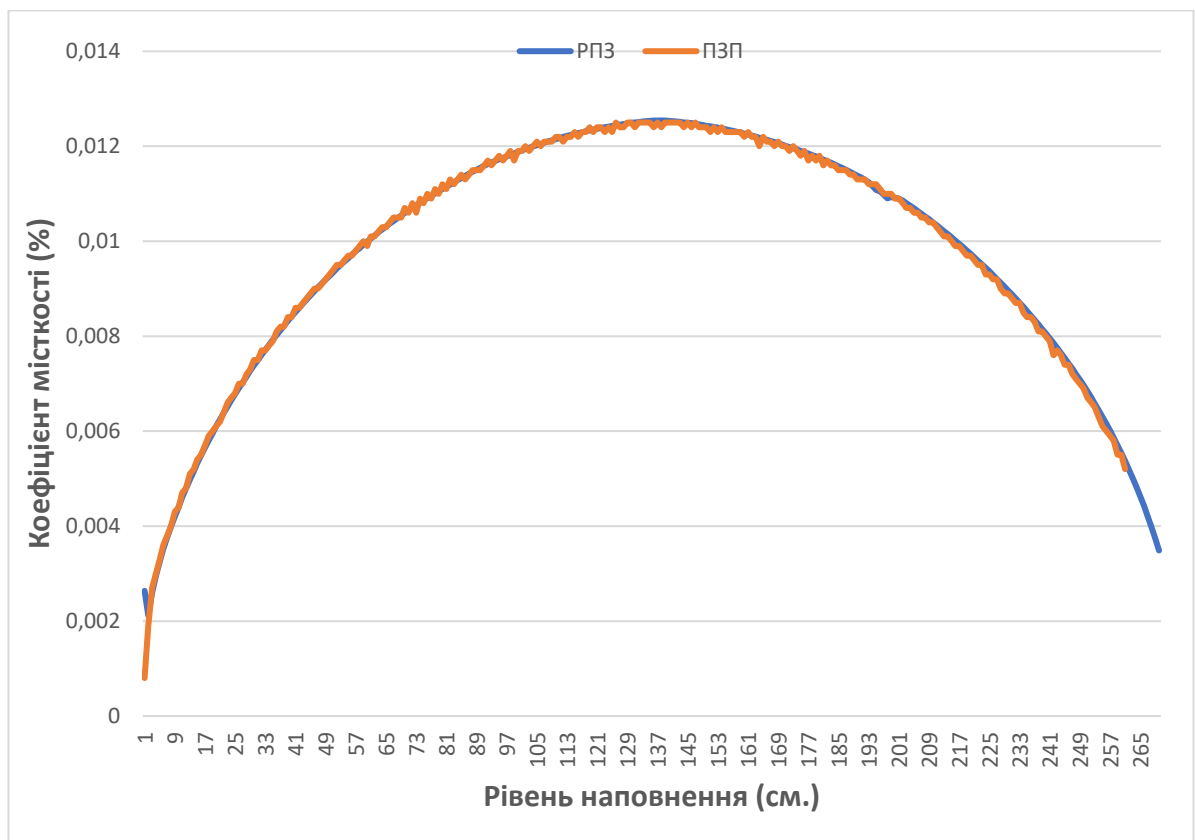


Рисунок 3.12 – Динаміка коефіцієнта місткості $K(h)$ для РГС-25: РПЗ показує меншу варіацію

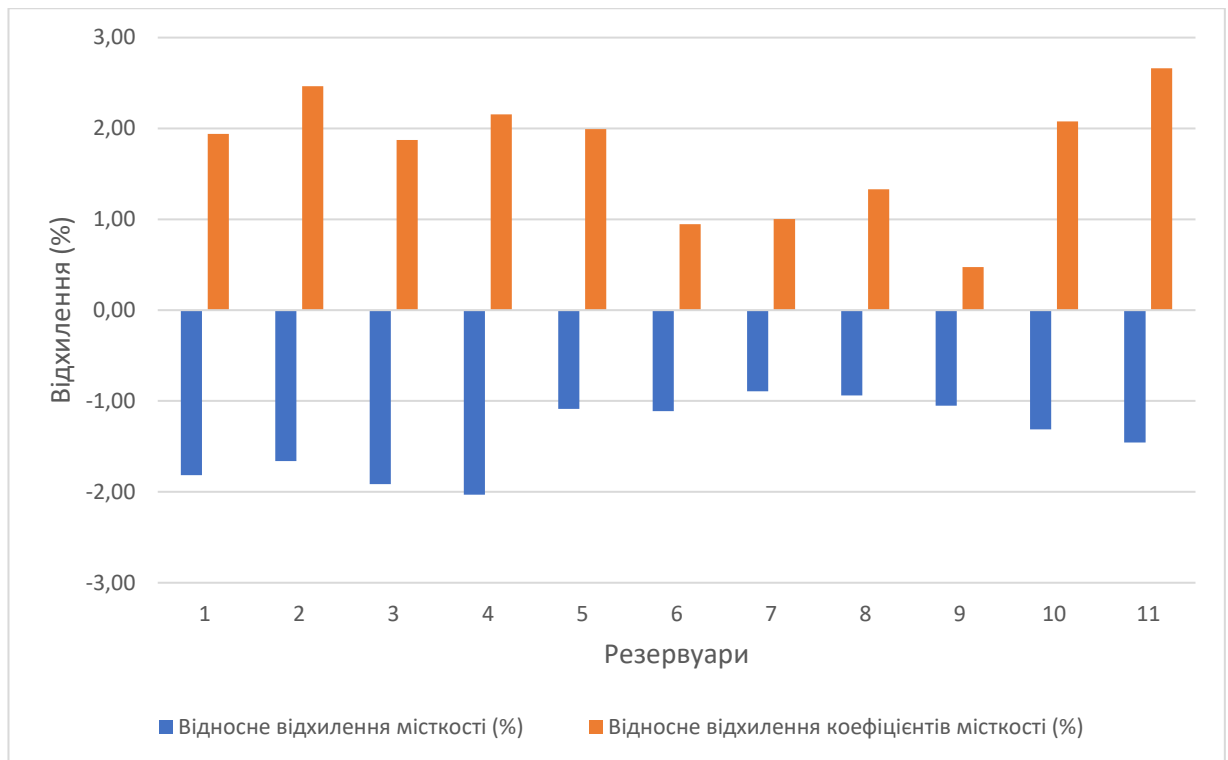


Рисунок 3.13 – Гістограма відхилень місткості

З метою об’єктивної оцінки точності розробленого програмного забезпечення виконано порівняльний аналіз результатів визначення повної місткості резервуарів (таблиця 3.4), отриманих:

- за допомогою РПЗ;
- за допомогою програмного забезпечення підприємства (ПЗП);
- чотирма незалежними методами реконструкції поверхні на основі тієї ж 3D-хмари точок:
 - Convex Hull – Метод побудови мінімальної опуклої оболонки множини точок. Систематично переоцінює об’єм, оскільки не враховує локальні вгини поверхні [55].
 - Poisson Surface Reconstruction (PSR) – Метод відновлення замкненої поверхні шляхом розв’язання рівняння Пуассона на основі нормалей. Забезпечує згладжену поверхню, частково нівелює шум, однак може згладжувати реальні геометричні нерівності [56].

○ Ball-Pivoting Algorithm (BPA) – Метод триангуляції, що формує поверхню шляхом “перекочування кулі” між точками. Добре відтворює локальну геометрію, але залежить від щільності хмари точок [57].

○ Alpha-shapes – Метод формування поверхні на основі Delaunay-триангуляції з використанням параметра α , який визначає характерну геометричну масштабність структури. Дозволяє враховувати локальні вгини та складні контури без примусового згладжування [58].

Для кожного резервуара обчислено середнє значення об’єму за чотирма методами реконструкції, а отримане значення прийнято як умовний геометричний еталон, що відображає узгоджену оцінку об’єму на основі різних математичних підходів до реконструкції поверхні.

Таблиця 3.4. Порівняння результатів визначення місткості резервуарів відносно геометричного еталону.

Резервуар	Місткість (м³)							Відносне відхилення місткості (%) РПЗ/еталон	Відносне відхилення місткості (%) ПЗП/еталон
	Об'єм на граничну висоту наповнення іншими методами оцінки/еталоном					РПЗ	ПЗП		
	Convex Hull	PSR	BPA	Alpha shapes	Середнє значення (еталон)				
РГС-25	26,529	26,215	26,265	26,213	26,3055	26,39	25,92	0,317812408	-1,47307597
РГС-25	26,496	26,437	26,652	26,447	26,508	26,26	25,83	-0,93874863	-2,55771842
РГС-25	26,272	26,48	26,069	26,355	26,294	26,35	25,85	0,202967522	-1,68099186
РГС-25	26,377	26,149	26,6	26,495	26,40525	26,45	25,92	0,152740146	-1,84148986
РГС-25	26,45	26,219	26,439	26,636	26,436	26,13	25,85	-1,14765565	-2,20910879
РГС-25	26,551	26,22	26,44	26,636	26,46175	26,13	25,85	-1,24384913	-2,33072265
РГС-25	26,306	26,198	26,54	26,655	26,42475	26,00	25,77	-1,60321586	-2,47400638
РГС-25	26,287	26,167	26,123	26,127	26,176	26,13	25,89	-0,1770607	-1,10406479
РГС-25	26,287	26,244	26,447	26,37	26,337	26,14	25,86	-0,76502906	-1,79595246
РГС-25	26,156	26,593	25,999	26,172	26,23	26,12	25,78	-0,42122673	-1,7117804
РГС-25	26,599	26,389	26,632	26,347	26,49175	26,27	25,90	-0,82014646	-2,24503855
РГС-75	73,805	73,146	73,328	73,389	73,417	73,6	71,81	0,24926107	-2,18886634
РГС-40	41,77	41,923	41,791	41,968	41,863	42,19	38,52	0,781119366	-7,98557198
СВГ-10	9,036	8,765	8,77	8,61	8,79525	8,9	8,99	1,19098377	2,21426338
РГС-25	26,157	26,827	26,538	26,499	26,50525	26,39	25,96	-0,43481952	-2,05713962
РГС-15	14,67	15,128	14,962	14,878	14,9095	15	14,81	0,600288407	-0,680774
РГС-35	35,163	35,113	35,03	35,058	35,091	34,97	34,97	-0,33626856	-0,35051723
РГС-50	50,323	50,256	49,709	49,812	50,025	49,98	49,99	-0,08995502	-0,06796602
СВГ-20	19,774	19,727	19,67	20,402	19,89325	19,96	19,74	0,330514119	-0,78041547
РГС-45	45,359	44,798	45,138	44,879	45,0435	44,98	44,9	-0,13431461	-0,31858093
РГС-60	62,414	61,958	61,764	61,746	61,9705	62	59,99	0,045989624	-3,20394381

Систематичне зміщення оцінювалося як середнє арифметичне відносних відхилень. Аналіз показав, що для РПЗ середнє зміщення є незначним і не має вираженої тенденції до систематичного завищення або заниження об'єму. Для ПЗП спостерігається більший розкид значень та локальні систематичні відхилення для окремих типорозмірів резервуарів. Це свідчить про більш стабільну узгодженість результатів РПЗ із геометрично обґрунтованим еталоном.

Основним показником точності обрано середнє абсолютне відхилення.

Розрахунок MAE для РПЗ. Нехай для п'яти резервуарів отримано такі відносні відхилення (у %): $\delta_{\text{РПЗ}} = \{-0.38; -0.42; -0.55; -0.61; -0.89\}$.

Тоді:

$$\begin{aligned} \text{MAE} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\delta_i|, \\ \text{MAE}_{\text{РПЗ}} &= \frac{1}{5} (|-0.38| + |-0.42| + |-0.55| + |-0.61| + |-0.89|), \\ \text{MAE}_{\text{РПЗ}} &= \frac{1}{5} (0.38 + 0.42 + 0.55 + 0.61 + 0.89), \\ \text{MAE}_{\text{РПЗ}} &= \frac{2.8535}{5} = 0.5707\%. \end{aligned} \tag{3.16}$$

Розрахунок MAE для ПЗП. Для тих самих резервуарів нехай відносні відхилення становлять (у %): $\delta_{\text{ПЗП}} = \{-1.05; -1.42; -1.88; -2.21; -3.26\}$.

Тоді:

$$\begin{aligned} \text{MAE} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\delta_i|, \\ \text{MAE}_{\text{ПЗП}} &= \frac{1}{5} (1.05 + 1.42 + 1.88 + 2.21 + 3.26), \\ \text{MAE}_{\text{ПЗП}} &= \frac{9.8265}{5} = 1.9653\%. \end{aligned} \tag{3.17}$$

За результатами обчислень отримано:

РПЗ: середнє абсолютне відхилення = 0,5707 %

ПЗП: середнє абсолютне відхилення = 1,9653 %

Таким чином, середня похибка визначення повної місткості для РПЗ є більш ніж у три рази меншою порівняно з ПЗП. Коефіцієнт підвищення точності становить $\approx 3,44$. Отже, використання вдосконаленого геометричного методу забезпечує підвищення точності приблизно у 3,4 рази.

Відносне зменшення похибки становить $\approx 71\%$. Отже середня похибка була зменшена.

Максимальні за модулем відхилення становлять:

$$\delta_{\max} = \max_i |\delta_i|. \quad (3.18)$$

РПЗ: 1,6032 %;

ПЗП: 7,9856 %.

Отримані значення свідчать, що навіть у найгіршому випадку відхилення РПЗ не перевищує 1,6 %, тоді як для ПЗП зафіксовано розбіжність майже 8 %. Це підтверджує значно кращу стійкість розробленого алгоритму до геометричних особливостей конкретних резервуарів та локальних відхилень форми.

Для оцінки стабільності результатів визначено стандартне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\delta_i - \bar{\delta})^2}, \quad (3.19)$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i.$$

РПЗ: $\sigma = 0,7065\%$;

ПЗП: $\sigma = 1,8493\%$.

Менше значення σ для РПЗ означає: кращу повторюваність результатів; меншу варіативність похибки; вищу стабільність методу при роботі з резервуарами різних типорозмірів.

Таким чином, РПЗ не лише забезпечує меншу середню похибку, а й демонструє більш передбачувану поведінку результатів.

Підвищення точності пояснюється такими чинниками:

1. Використанням параметричної геометричної моделі резервуара (циліндрична частина + днища), що відповідає його конструктивній будові.

2. Сегментацією хмари точок за допомогою комбінованого методу RANSAC + DBSCAN з уточненням меж.

3. Врахуванням реальних деформацій поверхні.

4. Зменшенням впливу шуму та локальних артефактів реконструкції.

5. Усуненням спрощених припущень, що використовуються в ПЗП.

На відміну від підходів, що використовують загальні геометричні апроксимації або спрощені моделі, розроблений метод орієнтований на фізично обґрунтований опис конструктивних елементів резервуара.

Отже, отримані результати кількісно підтверджують досягнення поставленої мети дисертаційної роботи — підвищення точності калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів шляхом удосконалення геометричного методу та автоматизації обробки 3D-хмари точок.

Висновки до розділу 3

1. Проведено експериментальну перевірку працездатності системи автоматизованого керування положенням 3D-сканера в умовах реального сканування резервуарів. Встановлено, що реалізований алгоритм вертикального переміщення забезпечує стабільність позиціонування та відтворюваність координат сканування між циклами вимірювання. Підтверджено коректність роботи апаратної частини, зокрема узгоджену взаємодію мікроконтролера, драйвера крокового двигуна та кінцевих вимикачів. Експериментально доведено, що зміна положення сканера у вертикальній площині дозволяє підвищити повноту покриття поверхні резервуара та зменшити кількість геометрично затінених ділянок, що позитивно впливає на якість 3D-хмари точок і подальшу точність визначення місткості.

2. Проведено експериментальну апробацію розробленого комбінованого методу сегментації 3D-хмари точок, що передбачає виділення циліндричної частини та днищ резервуара з подальшим уточненням меж кластерів. Результати обробки показали стійкість алгоритму до наявності

шуму та нерівномірного розподілу точок. Підтверджено, що застосування комбінованого підходу забезпечує більш точне визначення геометричних параметрів порівняно з використанням ізольованих методів апроксимації. Аналіз похибок сегментації засвідчив відсутність систематичних відхилень у визначенні радіуса та довжини циліндричної частини, а також геометричних характеристик днищ. Отримані результати підтверджують адекватність математичної моделі та доцільність використання гібридного алгоритму для обробки великих масивів просторових даних.

3. Виконано порівняльний аналіз результатів формування поміліметрових калібрувальних таблиць із використанням розробленого програмного забезпечення та результатів, отриманих за традиційними підходами. Показано узгодженість результатів у межах допустимих метрологічних відхилень. Встановлено відсутність систематичної методичної похибки у розрахунках, що свідчить про коректність реалізації алгоритмів обчислення об'єму. Аналіз залежностей об'єму від рівня наповнення та коефіцієнта місткості підтвердив стабільність та плавність зміни характеристик, що відповідає фізичній природі процесу наповнення горизонтального резервуара. Отримані експериментальні дані можуть розглядатися як підтвердження підвищення точності та відтворюваності результатів калібрування порівняно з традиційними методами, особливо в умовах наявності експлуатаційних деформацій резервуара.

Розділ 4. Програмно-апаратна реалізація автоматизованої системи для калібрування резервуарів

Розділ присвячений програмно-апаратній реалізації автоматизованої системи калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних, що базується на вдосконаленому геометричному методі, описаному в попередньому розділі. У цьому розділі розглянуто практичні аспекти побудови системи, яка забезпечує інтеграцію 3D-лазерного сканування, керування допоміжними механічними засобами та спеціалізованого програмного забезпечення в єдиний автоматизований технологічний процес.

Основна увага зосереджена на реалізації системи керування процесом калібрування, виборі та обґрунтуванні апаратних засобів, розробленні програмного забезпечення для обробки великих хмар точок і формування калібрувальної таблиці місткості. Розглянуто питання сумісності апаратної та програмної частин, організації обміну даними, а також забезпечення відтворюваності та стабільності результатів у промислових умовах експлуатації.

Окремо приділено увагу користувацькому інтерфейсу та методиці практичного використання розробленої системи, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактора та скоротити тривалість калібрувальних робіт. Представлені рішення орієнтовані на застосування в реальних метрологічних задачах і враховують обмеження, притаманні промисловим об'єктам.

У цьому розділі наведено опис програмно-апаратної структури автоматизованої системи, принципи керування положенням 3D-сканера, реалізацію програмного забезпечення розрахунку калібрувальної таблиці, а також методику використання системи та аналіз її практичних обмежень.

4.1 Розроблення системи керування автоматизованим калібруванням резервуарів сталевих циліндричних геометричним методом

Програмно-апаратна система автоматизованого калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних призначена для реалізації

геометричного методу визначення місткості на основі обробки даних 3D-сканування та керування допоміжними апаратними засобами. Система побудована за модульним принципом і поєднує апаратні та програмні компоненти, функціонально взаємопов'язані в межах єдиного керованого технологічного циклу. З лістингом коду можна ознайомитись в Додатку В.

Структурно система включає такі основні підсистеми:

1. Підсистема 3D-сканування, що базується на використанні лазерного фазового 3D-сканера FARO Focus3D X130 [59], який формує високощільну тривимірну хмару точок поверхні резервуара. Отримані координати точок передаються до обчислювального модуля для подальшої обробки та аналізу.

2. Механічна система вертикального позиціонування сканера, реалізована на основі телескопічного підйомного штатива геодезичного типу [60], що виконує функцію несучої конструкції. До її складу входять:

- телескопічний підйомний штатив як вертикальна напрямна конструкція;
- каретка кріплення 3D-сканера;
- ходовий механізм поступального переміщення;
- електродвигун типу NEMA 17;
- елементи жорсткої фіксації положення.

Така конструкція забезпечує контрольоване переміщення сканера у вертикальній площині з необхідною жорсткістю та повторюваністю позиціонування. Використання телескопічного штатива дозволяє регулювати робочий діапазон переміщення відповідно до геометричних розмірів резервуара.

3. Апаратна система керування виконавчим механізмом, що включає:

- мікроконтролер Arduino Mega 2560 як центральний елемент керування [61];
- драйвер крокового двигуна типу A4988 [62];
- кроковий електродвигун NEMA 17 [63];
- механічні кінцеві вимикачі нормально-замкненого типу [64];

- блок живлення;
- інтерфейс обміну даними з персональним комп'ютером.

Контролер Arduino Mega 2560 формує керуючі імпульси для драйвера A4988, який забезпечує мікрокрокове керування кроковим двигуном NEMA 17. Це дозволяє реалізувати дискретне та точно контрольоване переміщення сканера з визначеним кроком.

Механічні кінцеві вимикачі нормально-замкненого типу виконують функцію апаратного обмеження граничних положень та підвищують безпеку системи: у разі обриву ланцюга або відмови елементів система переходить у безпечний стан, що виключає перевищення допустимого діапазону переміщення.

4. Програмний модуль оцінки якості 3D-хмари точок, який здійснює кількісний аналіз отриманих даних за показниками повноти покриття, щільності розподілу, рівня шуму та частки викидів. На основі формалізованих критеріїв визначається необхідність зміни положення сканера.

5. Модуль прийняття рішення та керування переміщенням, що реалізує алгоритм адаптивного вертикального позиціонування. За результатами оцінки якості формується команда:

- переміщення вгору;
- переміщення вниз;
- зупинка та перехід до етапу калібрування.

6. Модуль геометричного аналізу та формування калібрувальної таблиці, який після підтвердження якості хмари точок виконує сегментацію поверхні резервуара, визначення геометричних параметрів та розрахунок поміліметрової таблиці місткості з подальшим формуванням звітної документації.

Функціонування системи реалізується як замкнений контур автоматизованого керування:

сканування → передача хмари точок → оцінка якості → формування керуючої команди → переміщення штатива за допомогою NEMA 17 → повторне сканування → повторна оцінка → перехід до калібрування.

Таким чином, положення 3D-сканера визначається не оператором, а алгоритмічно — на основі кількісного аналізу характеристик отриманої 3D-хмари точок. Інтеграція телескопічної механічної системи, мікроконтролера Arduino Mega 2560, драйвера A4988 та крокового двигуна NEMA 17 забезпечує реалізацію адаптивного автоматизованого процесу формування вимірювальної інформації, що є необхідною умовою підвищення точності калібрування резервуарів.

4.2 Алгоритмічне забезпечення функціонування програмно-апаратної системи

Алгоритмічне забезпечення програмно-апаратної системи виконує роль інтегруючої ланки між вимірювальною підсистемою, механічним модулем позиціонування, апаратною частиною керування та програмним середовищем обробки даних. Саме на цьому рівні реалізується замкнений цикл функціонування системи: формування 3D-хмари точок, автоматизована оцінка її якості, прийняття рішення щодо необхідності зміни положення сканера, передача керуючих сигналів до виконавчих механізмів та повторна перевірка отриманих даних.

Особливістю алгоритмічного забезпечення є реалізація адаптивного принципу керування, за якого положення 3D-сканера визначається не оператором, а результатами кількісного аналізу параметрів 3D-хмари точок. Таким чином забезпечується автоматизоване досягнення необхідної повноти покриття внутрішньої або зовнішньої поверхні резервуара, мінімізація кількості повторних сканувань та підвищення достовірності подальших геометричних розрахунків.

4.2.1 Алгоритм автоматизованої оцінки якості 3D-хмари точок

Після завершення кожного сканування система автоматично завантажує отриману 3D-хмару точок і виконує її попередню підготовку, що необхідна для усунення технічних артефактів (шумів, точок поза робочою зоною, тощо) та забезпечення коректного розрахунку метрик. Далі обчислюються показники, які кількісно характеризують придатність хмари точок для наступних геометричних операцій. Окремо формується карта проблемних зон, яка показує, де саме на поверхні (або по висоті) спостерігається нестача даних. Після цього система порівнює отримані значення з установленими порогоми якості. Якщо всі базові умови виконано — хмара точок вважається придатною, і процес переходить до калібрування. Якщо хоча б один критерій не виконується — хмара вважається непридатною, і в модуль керування переміщенням передається інформація, необхідна для вибору напрямку та величини вертикального зміщення сканера. На рис. 4.1 представлено алгоритм автоматизованої оцінки якості.

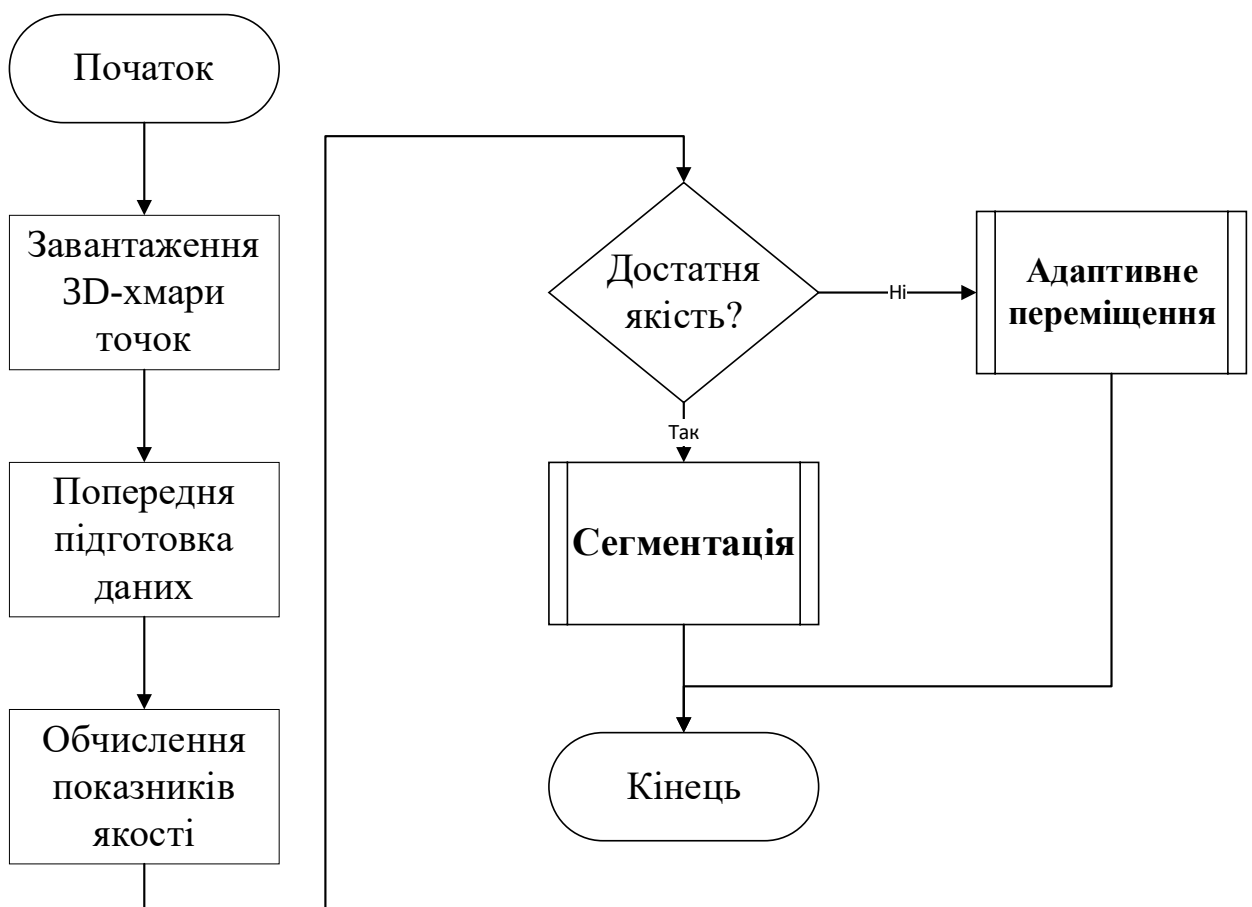


Рисунок 4.1 – Алгоритм автоматизованої оцінки якості

На рисунку 4.1 представлено структурну схему алгоритму автоматизованої оцінки якості 3D-хмари точок, що є ключовим етапом замкненого циклу функціонування програмно-апаратної системи калібрування резервуарів. Алгоритм реалізує послідовний аналіз отриманих вимірювальних даних з метою визначення їх придатності для подальшої сегментації та розрахунку поміліметрової калібрувальної таблиці.

Процес розпочинається із завантаження 3D-хмари точок, сформованої лазерним сканером. На цьому етапі здійснюється перевірка коректності даних, формату файлу та повноти запису координат. Далі виконується попередня підготовка даних, що включає фільтрацію шумових значень, видалення явних викидів, нормалізацію координатної системи та обмеження робочої області аналізу.

Після підготовки даних обчислюються основні показники якості 3D-хмари точок, зокрема: повнота покриття поверхні резервуара, рівномірність щільності розподілу точок, рівень локального шуму та частка аномальних значень. Отримані параметри порівнюються із встановленими пороговими критеріями, що формалізують вимоги до придатності хмари точок для геометричного аналізу.

У блоці прийняття рішення здійснюється перевірка достатності якості. Якщо всі критерії виконані, система переходить до етапу сегментації геометричних складових резервуара. У випадку невідповідності хоча б одного показника формується команда на адаптивне переміщення 3D-сканера з метою покращення геометричної видимості проблемних зон.

Таким чином, представлений алгоритм забезпечує автоматизований контроль придатності вимірювальних даних, мінімізує вплив суб'єктивного фактора та реалізує механізм зворотного зв'язку між якістю 3D-сканування та системою керування положенням сканера. Це дозволяє підвищити повноту покриття внутрішньої поверхні резервуара та забезпечити достовірність подальших геометричних розрахунків.

4.2.2 Алгоритм адаптивного переміщення 3D-сканера

Алгоритм переміщення виконує функцію адаптивного керування вимірювальним процесом і використовується лише тоді, коли отримана 3D-хмара не відповідає критеріям якості. На вході алгоритм отримує хмару точок і описує, де саме виник дефіцит покриття. Далі система оцінює розташування цих зон відносно поточного положення сканера і вибирає напрямок вертикального переміщення, який має найбільший потенціал покращити огляд і заповнити «пропуски». Перед виконанням руху обов'язково здійснюється контроль меж переміщення та стану кінцевих вимикачів нормально-замкненого типу як елементу апаратної безпеки. Після визначення напрямку та величини переміщення формується керуюча команда, яка забезпечує керування кроковим двигуном. Після переміщення запускається повторне сканування, а отримані дані знову перевіряються алгоритмом оцінки якості. Процес повторюється ітераційно до досягнення необхідної якості або до вичерпання допустимих меж/кількості спроб.



Рисунок 4.2 – Алгоритм адаптивного переміщення 3D-сканера

На рисунку 4.2 представлено структурну схему алгоритму адаптивного вертикального переміщення 3D-сканера, який реалізує механізм зворотного зв'язку між результатами оцінки якості 3D-хмари точок та виконавчою системою позиціонування. Алгоритм активується у випадку, якщо за результатами попереднього етапу якість сформованої хмари точок визнана недостатньою для виконання сегментації та подальших геометричних розрахунків.

Процес розпочинається із завантаження 3D-хмари точок та аналізу розташування проблемних зон, що були визначені під час оцінки якості. На цьому етапі виконується визначення ділянок поверхні резервуара, для яких характерні дефіцит щільності точок, наявність пропусків або нерівномірність покриття. Просторовий аналіз дозволяє встановити, у якій частині резервуара (верхній чи нижній відносно поточного положення сканера) спостерігається переважна кількість дефектів.

На основі цього аналізу визначається величина та напрям переміщення сканера. Величина зміщення розраховується з урахуванням інтенсивності локального дефіциту даних та встановлених обмежень на максимальний допустимий крок переміщення. Такий підхід забезпечує раціональну зміну геометрії огляду без надмірних переміщень, що могли б зменшити стабільність вимірювань.

Перед виконанням переміщення здійснюється перевірка допустимості руху. Контролюються апаратні обмеження (стан механічних кінцевих вимикачів нормально-замкненого типу), а також програмно задані межі вертикального ходу. У разі якщо переміщення дозволено, формується керуюча команда для виконавчої системи, яка через мікроконтролер та драйвер крокового двигуна забезпечує необхідне зміщення 3D-сканера.

Після виконання переміщення ініціюється повторне сканування резервуара, а отримані дані знову передаються до алгоритму оцінки якості. Таким чином реалізується ітераційний цикл «оцінка – корекція положення – повторне сканування», який триває до досягнення встановлених критеріїв якості або до вичерпання допустимого діапазону переміщення.

Запропонований алгоритм дозволяє автоматизувати процес позиціонування 3D-сканера, мінімізувати вплив оператора та забезпечити формування повної та геометрично достовірної 3D-моделі поверхні резервуара, що є необхідною умовою точного розрахунку його місткості.

4.2.3 Алгоритм сегментації 3D хмари точок

На рисунку 4.3 представлено структурну схему гібридного алгоритму сегментації 3D-хмари точок горизонтального сталевого резервуара, що є ключовим етапом подальшого визначення геометричних параметрів та розрахунку об'єму [48].

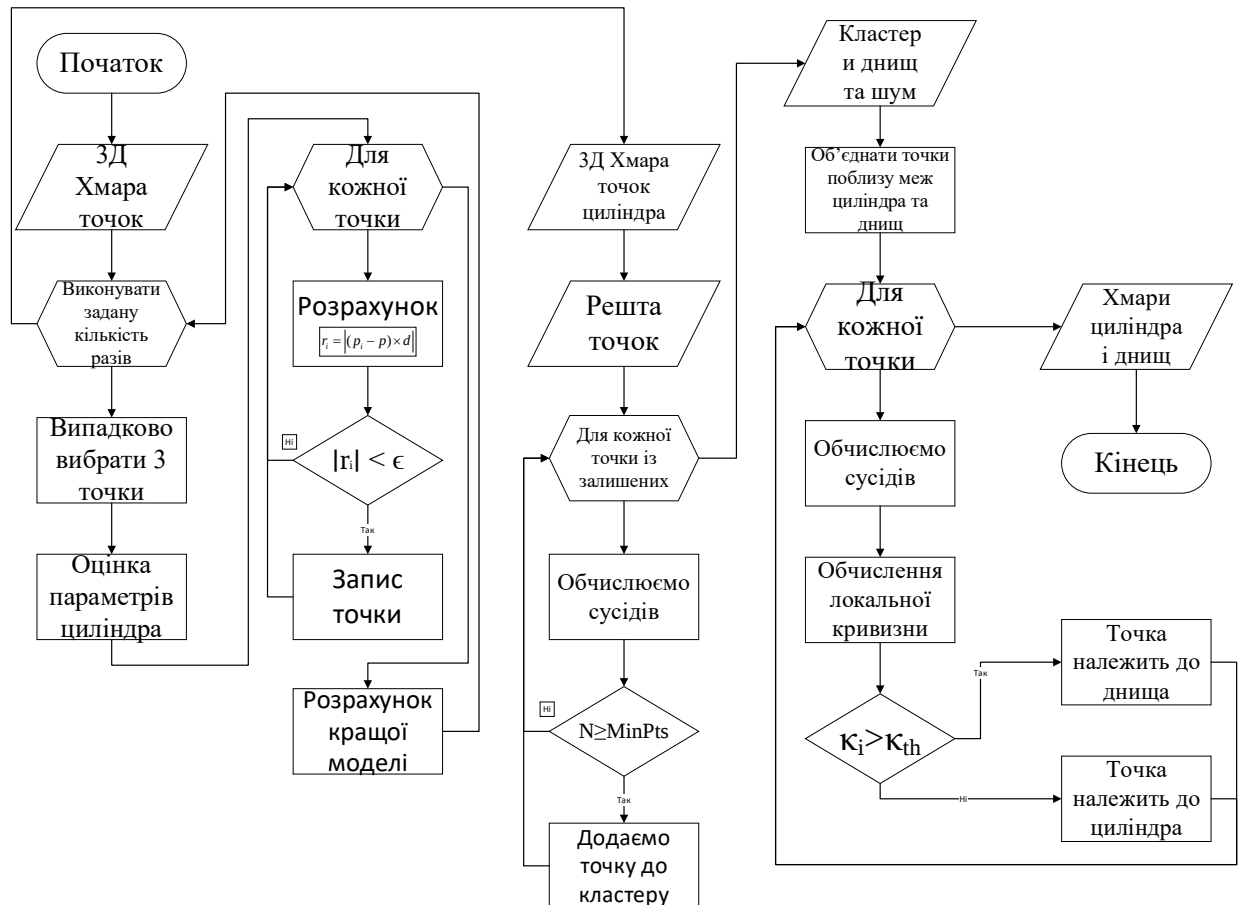


Рисунок 4.3 – Алгоритм сегментації 3Д хмари точок резервуара

Алгоритм реалізує поетапне виділення циліндричної частини та днищ резервуара і складається з таких основних блоків:

Вхідні дані. На вхід подається попередньо очищена 3D-хмара точок, отримана після етапу оцінки якості та первинної фільтрації шуму.

Ітераційне виділення циліндричної частини методом RANSAC. Виконується пошук параметрів циліндричної поверхні (вісь, радіус, положення) шляхом багаторазового випадкового вибору підмножин точок і перевірки відповідності моделі.

На кожній ітерації:

- формується кандидатна модель циліндра;
- визначається множина інлайєрів ;
- обчислюється похибка апроксимації;
- зберігається модель із максимальною кількістю інлайєрів.

У результаті формується підмножина точок циліндричної частини, а решта точок передається на наступний етап.

Виділення потенційних зон днищ (залишкова множина). Формується підмножина, яка містить точки днищ та можливі залишкові шумові точки.

Кластеризація методом DBSCAN. До множини застосовується алгоритм щільнісної кластеризації DBSCAN.

Це дозволяє:

- автоматично визначити кластери, що відповідають передньому та задньому днищам;
- відокремити розріджені точки як шум;
- не задавати наперед кількість кластерів.

Уточнення меж за нормаллями та кривиною. Для зменшення похибки сегментації виконується додатковий аналіз:

- орієнтації нормалей поверхні;
- локальної кривизни;
- відстані до межі циліндричної частини.

Це дозволяє скоригувати належність прикордонних точок і зменшити кількість помилково класифікованих елементів.

Формування остаточної підмножини. У результаті алгоритму формуються три основні множини: точки циліндричної частини; точки переднього днища; точки заднього днища; а також множина шуму.

Особливості алгоритму

- Запропонований підхід є комбінованим і поєднує:
- параметричну апроксимацію (RANSAC),
- щільнісну кластеризацію (DBSCAN),

- геометричний аналіз локальних характеристик поверхні.

На відміну від застосування лише одного методу, гібридна схема дозволяє:

- підвищити стійкість до шуму (5–15% точок),
- зменшити вплив нерівномірної щільності,
- коректно обробляти деформовані поверхні,
- знизити похибку визначення геометричних параметрів до 2–3%.

Таким чином, алгоритм сегментації, представлений на рисунку 2.5, формує коректну геометричну основу для подальшого етапу математичного моделювання та розрахунку поміліметрової калібрувальної таблиці резервуара.

4.2.4 Алгоритм розрахунку об'єму горизонтального сталевго резервуара

На рисунку 4.4 представлено структурований алгоритм автоматизованого розрахунку об'єму горизонтального сталевго резервуара на основі 3D-хмари точок [65]. Алгоритм реалізує повний технологічний цикл обробки даних — від просторового сканування до формування поміліметрової градуювальної таблиці [66].

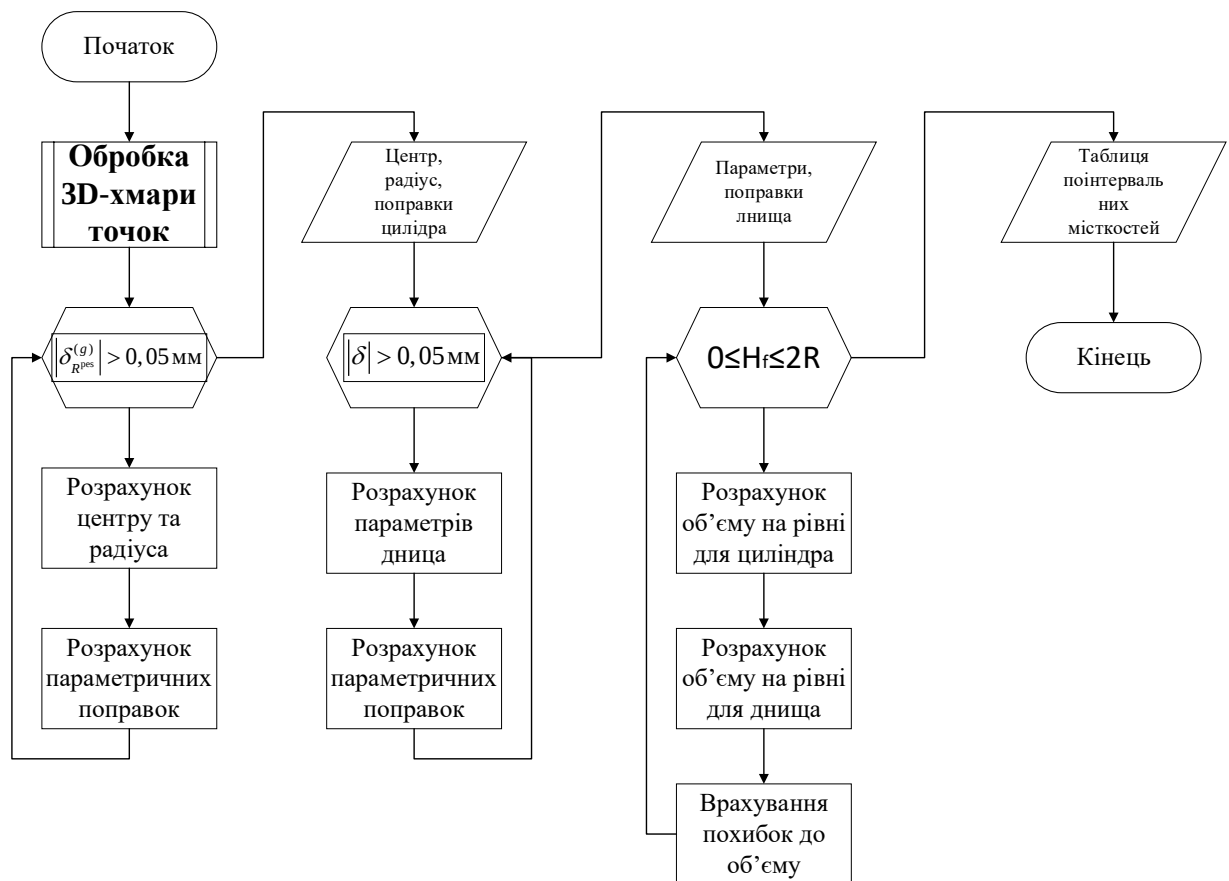


Рисунок 4.4 – Загальний алгоритм розрахунку об’єма резервуара

Процес включає такі основні етапи:

Отримання та попередня обробка 3D-хмари точок. Виконується фільтрація шуму, видалення викидів та нормалізація координатної системи.

Оцінка якості хмари точок. Аналізується щільність розподілу, повнота покриття поверхні, рівень шуму та частка викидів. У разі невідповідності критеріям формується рішення про зміну положення 3D-сканера.

Сегментація геометричних складових резервуара. Ітераційний метод RANSAC використовується для виділення циліндричної частини, після чого кластеризація DBSCAN дозволяє визначити днища з подальшим уточненням меж на основі нормалей і кривизни.

Обчислення геометричних параметрів. Визначаються радіус, довжина, положення осі циліндра, параметри днищ та можливий нахил резервуара.

Розрахунок об'єму наповнення $V(h)$. Для кожного значення рівня наповнення виконується інтеграційний або дискретний геометричний розрахунок з урахуванням фактичної форми поверхні.

Урахування коригувальних факторів. Враховуються температурні деформації, вплив гідростатичного тиску та експлуатаційні зміни геометрії.

Формування калібрувальної таблиці та звітної документації. Результатом є поміліметрова таблиця місткості та автоматично сформований звіт у форматах .xlsx та .docx.

Запропонований алгоритм відрізняється від нормативних підходів тим, що базується не на ідеалізованих геометричних припущеннях, а на реальній просторовій моделі резервуара, отриманій за допомогою лазерного сканування. Це дозволяє зменшити систематичні похибки, підвищити точність розрахунків і забезпечити відтворюваність результатів автоматизованого калібрування.

4.3 Розроблення програмного забезпечення автоматизованої системи розрахунку калібрувальної таблиці

Програмне забезпечення розроблено для автоматизації всіх етапів калібрування горизонтальних сталевих резервуарів, від обробки хмари точок до генерації градуювальної таблиці та звіту. Воно реалізує методики [11] із вдосконаленнями, запропонованими в розділі 2 експериментально перевірені в розділі 3. ПЗ забезпечує високу точність і швидкість обробки завдяки оптимізованим алгоритмам і паралельним обчисленням.

4.2.1 Технологічна та програмна основа розробки системи

Розробка програмного забезпечення (ПЗ) для автоматизованого калібрування горизонтальних сталевих резервуарів потребує ретельного вибору технологій, які забезпечують високу продуктивність, точність обчислень і зручність використання. Обрана технологічна основа базується на

мові програмування Python та наборі спеціалізованих бібліотек: PyQt5, NumPy, Pandas, Openpyxl, PIL (Pillow), Open3D, SciPy, Docxtpl і Multiprocessing. Цей вибір обґрунтовано їхньою здатністю ефективно обробляти великі хмари точок, реалізовувати складні алгоритми сегментації, досягати високої точності і надавати користувачам інтуїтивний інтерфейс для автоматизації всіх етапів калібрування. Нижче детально розглянуто роль кожної технології, їхні переваги та внесок у функціональність ПЗ [67].

Мова програмування Python обрана завдяки її універсальності, простоті синтаксису та широкій екосистемі бібліотек для наукових обчислень, обробки даних і створення графічних інтерфейсів [68]. Python підтримує швидку розробку прототипів і має активну спільноту, що забезпечує доступ до документації та оновлень. У контексті калібрування резервуарів Python дозволяє ефективно реалізувати математичні моделі (метод найменших квадратів, параметричні рівняння поправок), обробляти великі обсяги даних і забезпечувати модульність ПЗ для подальшого масштабування. Відкритий код Python і його бібліотек знижує витрати на розробку, що є важливим для академічних і промислових застосувань.

Кожна бібліотека виконує специфічні функції, які відповідають етапам калібрування: від імпорту даних до генерації звітів.

PyQt5: Графічний інтерфейс користувача [69]

PyQt5 використано для створення інтуїтивного графічного інтерфейсу, який забезпечує зручну взаємодію користувача з ПЗ. Інтерфейс, зображений у документації, включає панелі для завантаження хмар точок, 3D-візуалізацію резервуара, відображення параметрів і кнопки для запуску обчислень. PyQt5 дозволяє створювати кросплатформні додатки з підтримкою складних віджетів, таких як таблиці для градувальних даних і вікна для інтерактивної візуалізації. Його переваги включають гнучкість у дизайні, підтримку сигналів і слотів для асинхронного виконання завдань, а також сумісність із Open3D для відображення 3D-моделей.

NumPy: Числові обчислення [70]

NumPy є основою для виконання числових обчислень, необхідних для обробки хмар точок і обчислення геометричних параметрів. Бібліотека забезпечує швидкі операції з масивами, зокрема обчислення центроїда, коваріаційної матриці, визначення напрямку осі циліндра та ефективно обробляє матричні операції в параметричному рівнянні поправок.

SciPy: Алгоритми сегментації та оптимізації [71]

SciPy забезпечує реалізацію алгоритмів сегментації (RANSAC, DBSCAN) і оптимізації (метод найменших квадратів), які лежать в основі гібридного методу. SciPy також підтримує ітераційні методи для уточнення параметрів. Бібліотека оптимізує обчислення часткових похідних.

Open3D: Обробка та візуалізація 3D-хмар точок [72]

Open3D є ключовою бібліотекою для імпорту, обробки та візуалізації хмар точок. Вона дозволяє завантажувати великі набори даних, виконувати попередню фільтрацію (видалення статистичних викидів) і відображати 3D-модель резервуара в інтерфейсі ПЗ. Open3D підтримує алгоритми оцінки нормалей і кривини, які використовуються для уточнення меж між циліндром і днищами (похибка 2–3%). Наприклад, нормалі допомагають ідентифікувати перехідні зони, що покращує сегментацію DBSCAN. Візуалізація Open3D дозволяє користувачам інтерактивно аналізувати результати.

Pandas: Обробка табличних даних [73]

Pandas використовується для створення та обробки градуовальної таблиці, яка містить залежність об'єму рідини. Бібліотека забезпечує зручну роботу з табличними даними, дозволяючи зберігати параметри і об'єми у структурованому вигляді. Pandas також підтримує експорт таблиць у формати, сумісні з Openpyxl, для подальшого збереження в Excel.

Openpyxl: Експорт результатів у Excel [74]

Openpyxl дозволяє експортувати градуовальні таблиці, параметри та оцінки похибок у формат Excel, що є стандартом для метрологічних звітів. Бібліотека забезпечує форматування таблиць, додавання заголовків і збереження даних. Openpyxl інтегрується з Pandas, що спрощує перенесення

даних у Excel-файли, забезпечуючи зручність для користувачів, які потребують подальшої обробки даних.

PIL (Pillow): Візуалізація результатів [75]

PIL (Pillow) використовується для створення та обробки зображень, таких як схематичне зображення резервуара з геометричними параметрами. Бібліотека дозволяє генерувати високоякісні візуалізації для включення в звіти.

Docxtempl: Генерація звітів [76]

Docxtempl забезпечує автоматичну генерацію звітів у форматі .docx на основі шаблонів. Бібліотека дозволяє вставляти обчислені параметри, градувальні таблиці, графіки і оцінки невизначеностей у структурований документ. Docxtempl спрощує створення професійних звітів, скорочуючи час на їх підготовку.

Multiprocessing: Оптимізація продуктивності [77]

Multiprocessing використовується для паралельної обробки великих хмар точок, що є критично важливим для швидкості виконання. Наприклад, сегментація і обчислення параметрів розподіляються між кількома ядрами процесора, скорочуючи час обробки з годин до хвилин. Бібліотека дозволяє паралельно виконувати такі завдання, як фільтрація шуму, кластеризація DBSCAN і обчислення МНК, що забезпечує ефективність ПЗ в реальних умовах.

Технологічна основа ПЗ, заснована на Python і бібліотеках PyQt5, NumPy, Pandas, Openpyxl, PIL, Open3D, SciPy, Docxtempl і Multiprocessing, забезпечує ефективне вирішення задач автоматизованого калібрування горизонтальних сталевих резервуарів. Кожна бібліотека відіграє унікальну роль, від обробки хмар точок і сегментації до візуалізації та генерації звітів, що дозволяє досягти високої точності, продуктивності і зручності використання. Обрані технології оптимально відповідають вимогам до обробки великих даних, реалізації складних алгоритмів і створення

професійних метрологічних звітів, що робить ПЗ цінним інструментом для промислових і наукових застосувань.

4.2.2 Архітектура програмного забезпечення автоматизованої системи

Архітектура програмного забезпечення (ПЗ) для автоматизованого калібрування горизонтальних сталевих резервуарів розроблена з урахуванням модульного підходу, що забезпечує гнучкість, масштабованість і ефективність обробки великих обсягів даних, таких як хмари точок розміром 10,293,482 точок для сканованої моделі резервуара. Модульна структура складається з п'яти основних компонентів (Рис.4.5): модуля імпорту даних, модуля сегментації, модуля обчислення параметрів, модуля обчислення об'ємів і модуля генерації звітів. Кожен модуль використовує спеціалізовані бібліотеки Python (PyQt5, NumPy, Pandas, Openpyxl, PIL, Open3D, SciPy, Docxtempl, Multiprocessing) і взаємодіє з іншими для виконання повного циклу калібрування.

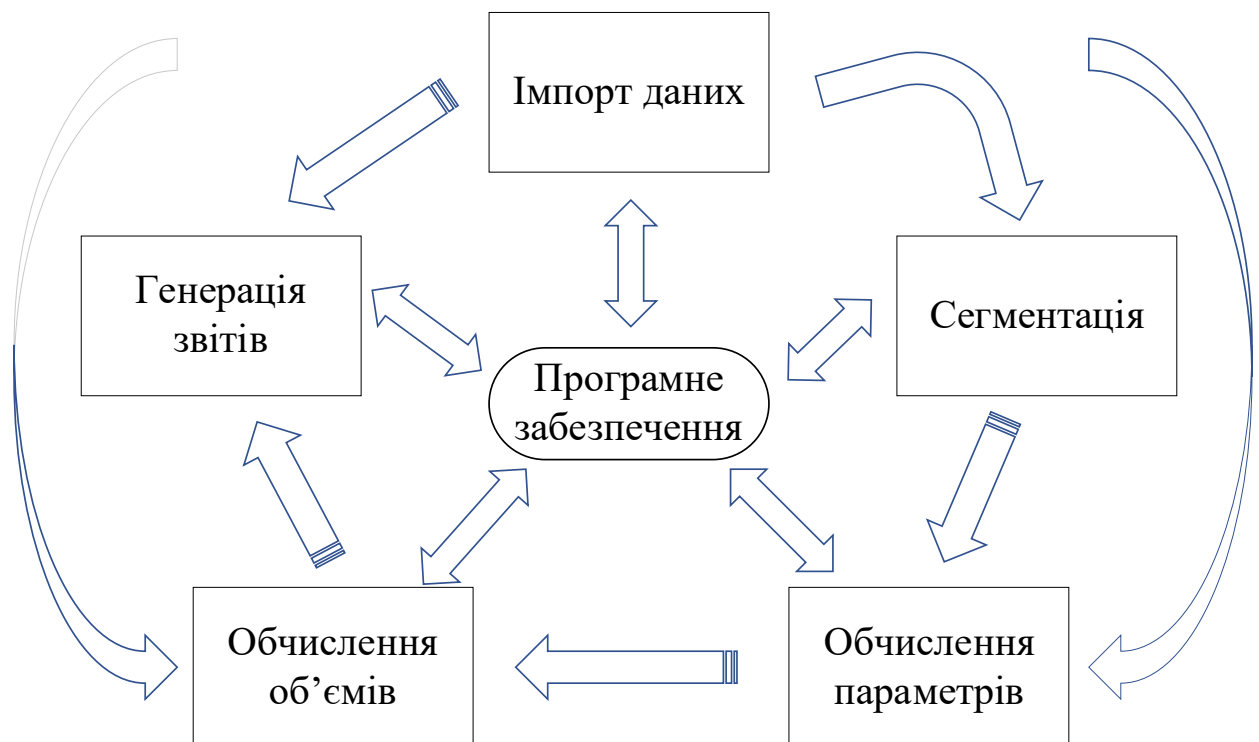


Рисунок 4.5 – Модульна структура та взаємозв'язок між модулями

1. Модуль імпорту даних

Функціонал: Модуль відповідає за завантаження хмари точок із файлів у форматі .xyz, а також за попередню обробку даних для видалення грубих аномалій. Для сканованої моделі резервуара модуль виконує статистичну фільтрацію, видаляючи 5–10% шумових точок, які можуть виникати через відбиття лазера або дефекти сканування.

Бібліотеки:

Open3D: Забезпечує імпорт і попередню обробку хмар точок, включаючи видалення викидів за допомогою статистичного аналізу.

NumPy: Використовується для перетворення хмари точок у масиви для подальшої обробки.

Взаємодія: Модуль передає відфільтровану хмару точок до модуля сегментації, а також надає дані для візуалізації в інтерфейсі через PyQt5 і Open3D.

2. Модуль сегментації

Функціонал: Модуль реалізує гібридний метод сегментації RANSAC+DBSCAN для виділення циліндричної частини із хмари точок. RANSAC ідентифікує циліндричну поверхню, відбираючи inliers (точки, що належать циліндру) і відфільтровуючи до 10% шуму. DBSCAN кластеризує точки днищ, а аналіз нормалей і кривини уточнює межі між циліндром і днищами з похибкою 2–3%. Наприклад, нормалі допомагають виявити різкі зміни кривини на межі циліндра.

Бібліотеки:

SciPy: Надає допомогу в реалізації RANSAC і DBSCAN для сегментації.

Open3D: Використовується для оцінки нормалей і кривини, а також для візуалізації сегментованих частин.

NumPy: Підтримує матричні операції для обчислення відстаней точок до осі циліндра.

Multiprocessing: Дозволяє паралельно обробляти різні кластери точок.

Взаємодія: Сегментовані підмножини передаються до модуля обчислення параметрів. Результати сегментації відображаються в інтерфейсі через Open3D.

3. Модуль обчислення параметрів

Функціонал: Модуль обчислює геометричні параметри резервуара, включаючи радіус, довжину, напрямок осі, нахил для циліндричної частини, а також параметри днищ. Обчислення базуються на методі найменших квадратів (МНК) із параметричними рівняннями поправок. Модуль досягає похибок ± 0.03 м для радіуса і ± 0.05 м для довжини.

Бібліотеки:

NumPy: Використовується для матричних обчислень.

SciPy: Забезпечує оптимізацію МНК і обчислення коваріаційної матриці для оцінки похибок.

Open3D: Надає дані про нормалі для уточнення меж.

Взаємодія: Обчислені параметри передаються до модуля обчислення об'ємів і відображаються в інтерфейсі через PyQt5.

4. Модуль обчислення об'ємів

Функціонал: Модуль розраховує об'єми циліндричної частини, переднього і заднього днищ, а також загальний об'єм.

Результати формуються у вигляді градуовальної таблиці для різних рівнів заповнення.

Бібліотеки:

NumPy: Використовується для числових обчислень об'ємів.

Pandas: Створює градуовальну таблицю у вигляді DataFrame.

Openpyxl: Експортує таблицю в Excel.

Взаємодія: Градуовальна таблиця передається до модуля генерації звітів і відображається в інтерфейсі.

5. Модуль генерації звітів

Функціонал: Модуль формує деталізовані звіти у форматі .docx, які включають обчислені параметри, градуовальну таблицю, оцінки похибок

(± 0.03 м, ± 0.05 м) і візуалізації (графіки, 3D-моделі). Звіти генеруються на основі шаблонів.

Бібліотеки:

Dosxtrl: Створює звіти у форматі .docx, заповнюючи шаблони даними.

PIL: Генерує графіки та обробляє скріншоти 3D-моделей із Open3D.

Pandas: Надає табличні дані для включення в звіт.

Openpyxl: Експортує таблиці в Excel як додаток до звіту.

Взаємодія: Отримує дані від модулів обчислення параметрів і об'ємів, відображає попередній перегляд звіту в інтерфейсі через PyQt5.

4.2.3 Користувацький інтерфейс

Інтерфейс користувача програмного забезпечення «Автоматизований розрахунок градуювальної таблиці» розроблено з використанням бібліотеки PyQt5 і середовища Qt Designer для забезпечення інтуїтивної взаємодії з користувачем, автоматизації всіх етапів калібрування горизонтальних і вертикальних сталевих резервуарів і формування вихідної документації. Інтерфейс дозволяє обробляти великі хмари точок, виконувати гібридну сегментацію, обчислювати геометричні параметри, будувати градуювальну таблицю та генерувати звіти у форматах .docx і .xlsx. Він включає вікно авторизації, головне вікно з чотирма вкладками («Резервуар», «Формування таблиці», «Результат», «Звіт») і різноманітні елементи керування (радіо-кнопки, поля вводу, випадаючі списки, кнопки).

Інтерфейс користувача складається з двох основних частин: вікна авторизації/реєстрації та головного вікна програми. Кожен компонент спроектовано для спрощення введення даних, контролю коректності та автоматизації обчислень, що відповідає вимогам метрологічних задач.

Вікно авторизації та реєстрації

Вікно авторизації (Рис. 4.6-4.8) відкривається після запуску програми і забезпечує безпечний доступ до ПЗ. Воно включає:

Поля вводу логіну та пароля: Користувач вводить облікові дані для входу (Рис. 4.6а). Функція «Око» дозволяє переглядати введений пароль (Рис.4.6б).

Кнопку «Вхід»: Ініціює авторизацію з перевіркою даних у базі даних.

Кнопку «Створити обліковий запис»: Відкриває форму реєстрації (Рис. 4.7), де користувач вводить логін, пароль, підтвердження пароля та пароль адміністратора для підтвердження.

Повідомлення про помилки: У разі некоректного введення (невідповідність паролів, незареєстрований користувач, відсутність даних) відображаються повідомлення (Рис. 4.8), наприклад, «Дані не введено» або «Невірний пароль».

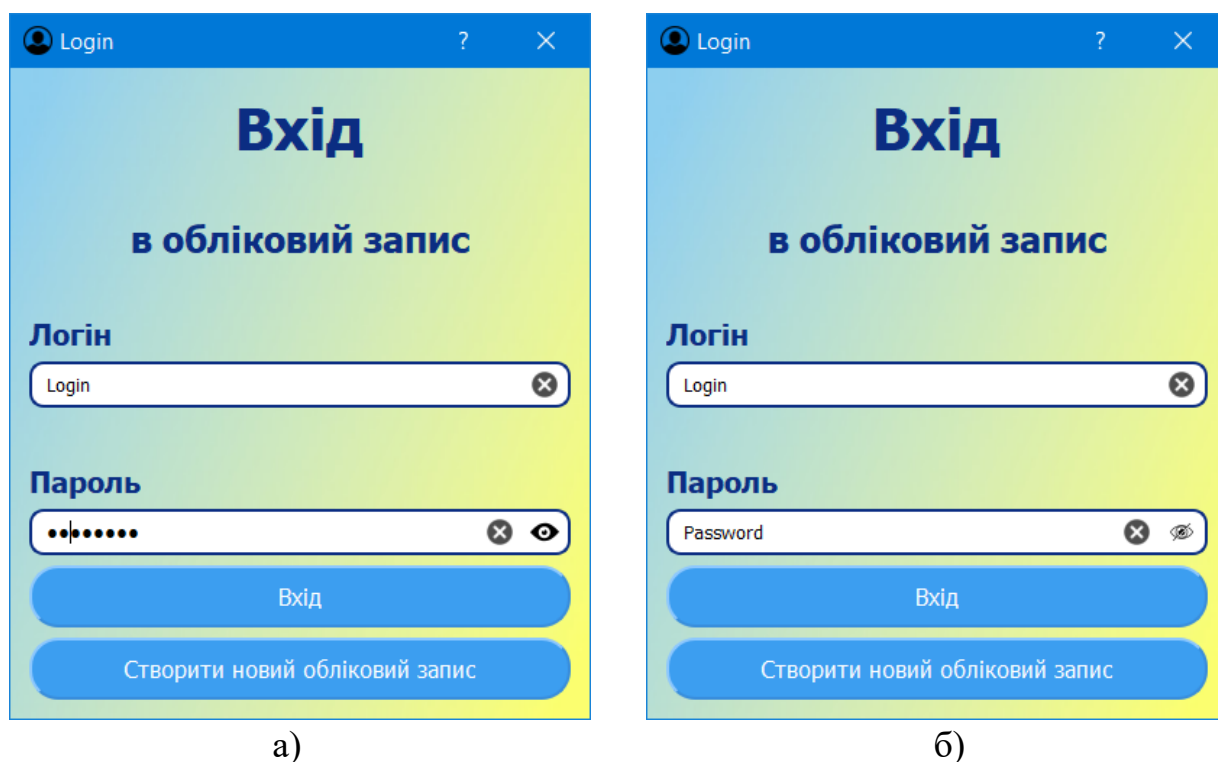


Рисунок 4.6 – Вхід у систему: введені дані (а); перегляд паролів (б).

а)

б)

Рисунок 4.7 – Реєстрація у системі: введені дані (а); перегляд паролів (б)

а)

б)

в)

Рисунок 4.8 – Помилки при вході в систему: дані не введено (а); невірний пароль (б); користувач не зареєстрований в системі (в)

Вікно авторизації реалізовано через PyQt5 із підтримкою шифрування даних (запис у базу даних) і забезпечує захист від несанкціонованого доступу.

Головне вікно програми

Головне вікно (Рис. 4.9) відкривається після успішної авторизації і є центральним елементом інтерфейсу. Воно містить чотири вкладки, які

відповідають етапам калібрування, і різноманітні елементи керування для введення даних, запуску обчислень і відображення результатів.

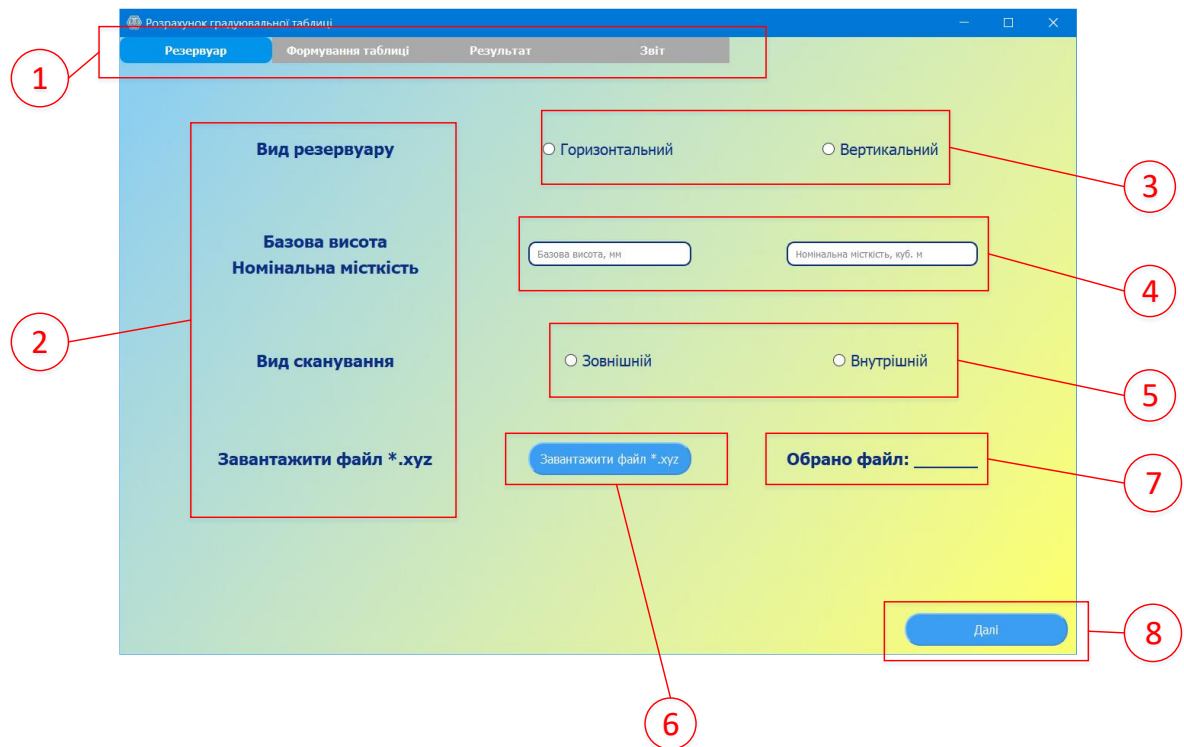


Рисунок 4.9 – Головне вікно програми

Вкладка «Резервуар»

Функціонал: Вкладка призначена для введення початкових даних про резервуар і завантаження хмари точок (Рис. 4.9, 8). Вона включає:

Радіо-кнопки для вибору типу резервуара: Горизонтальний або вертикальний (Рис. 4.9, область ③).

Радіо-кнопки для вибору типу сканування: Внутрішнє або зовнішнє (область ⑤).

Поля вводу: Для базової висоти (у мм, наприклад, 3000 для 3м) і номінальної місткості (у м³) (область ④). Поля мають підказки із зазначенням одиниць вимірювання.

Випадаючі списки: Для вибору форми днищ (плоскі, сферичні, еліптичні) при горизонтальному типі резервуара (Рис. 4.10, область ⑨).

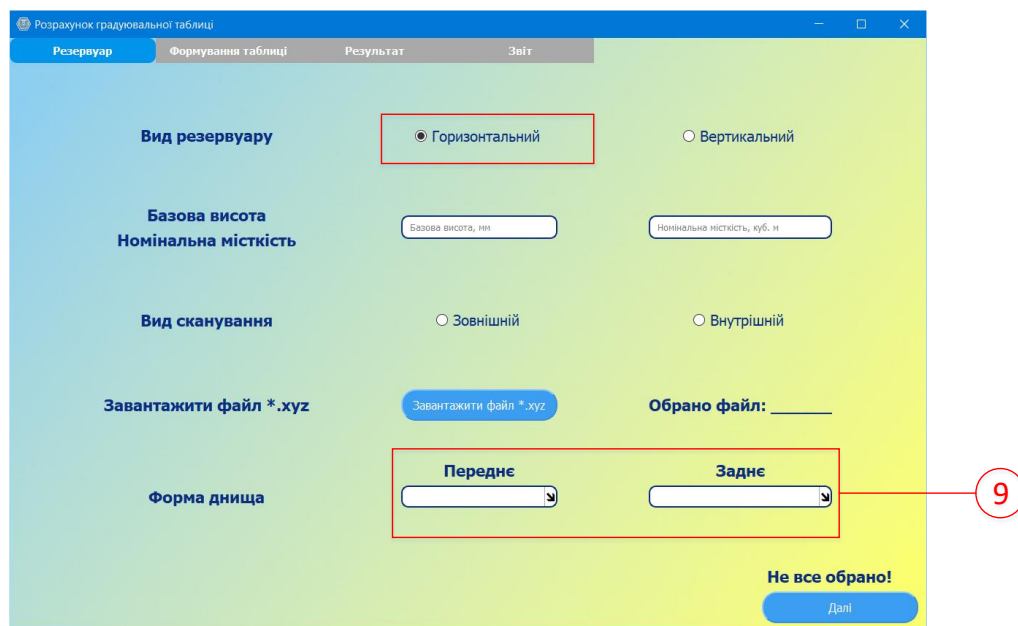


Рисунок 4.10 – Користувач обрав горизонтальний тип резервуару

Кнопку «Завантажити файл *.xyz»: Відкриває системне діалогове вікно для вибору файлу хмари точок (область ⑥). Після вибору ім'я файлу відображається в області повідомлення (область ⑦).

Кнопку «Далі»: Переводить до наступної вкладки, якщо всі дані введено коректно (область ⑧). У разі неповного заповнення поля миготять червоним, а над кнопкою з'являється повідомлення «Не все обрано!».

Роль: Вкладка забезпечує введення параметрів і завантаження хмари точок, що є першим етапом калібрування. Використання PyQt5 дозволяє створювати інтерактивні елементи з валідацією даних, а Open3D підтримує імпорт файлів .xyz.

Вкладка «Формування таблиці»

Функціонал: Вкладка відображає 3D-ескіз резервуара на основі завантаженої хмари точок і дозволяє запустити обчислення градуювальної таблиці (Рис. 4.11). Вона включає:

Область візуалізації: Показує попередній ескіз резервуара, створений за допомогою Open3D на основі введених даних.

Поля вводу: Для додаткових параметрів (наприклад, густина рідини, якщо резервуар для скрапленого газу), без зазначення одиниць.

Прапорець «Резервуар для скрапленого газу»: Активується для горизонтальних резервуарів, щоб урахувати специфічні розрахунки.

Кнопку «Розрахувати градувальну таблицю»: Запускає гібридну розрахунки.

Індикатор прогресу: Зелена рухлива смужка показує хід обчислень, які тривають кілька хвилин для хмари з 10 млн точок.

Роль: Вкладка автоматизує запуск складних обчислень. Візуалізація через Open3D допомагає користувачу перевірити коректність даних.

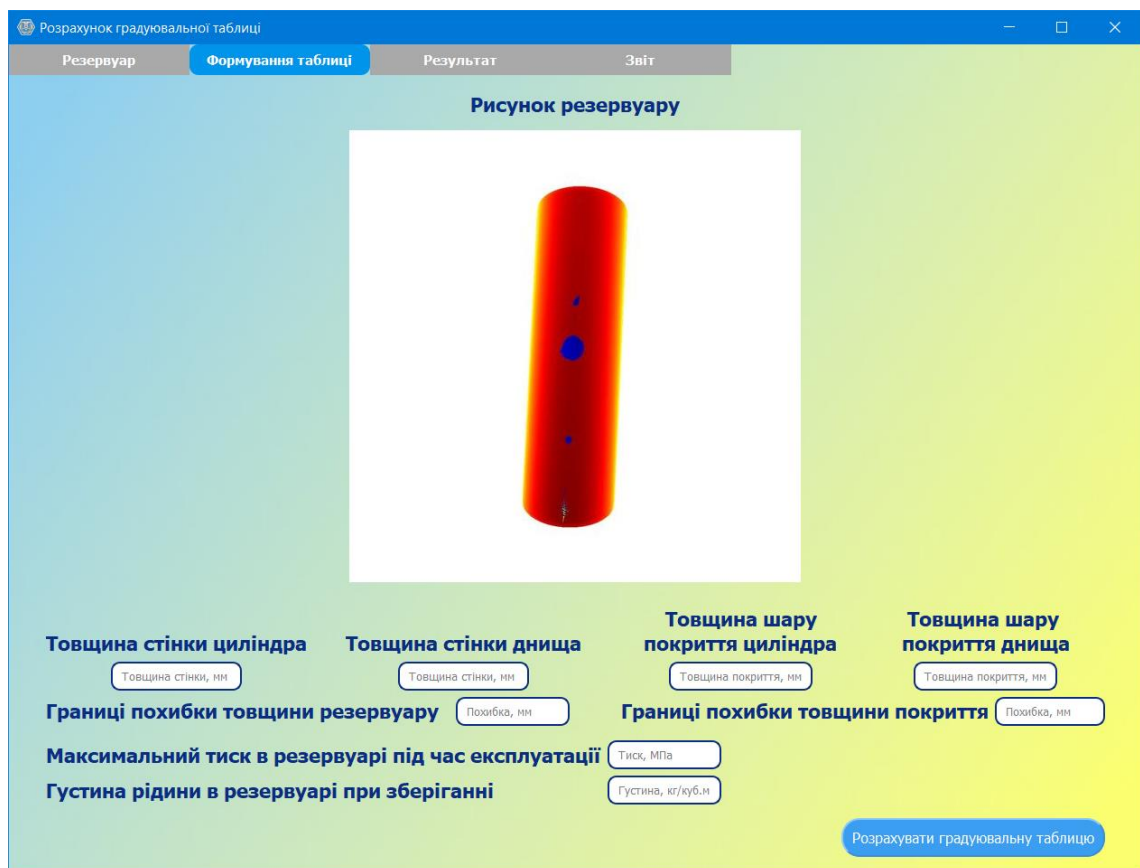


Рисунок 4.11 – Друга вкладка робочого вікна

Вкладка «Результат»

Функціонал: Вкладка відображає результати обчислень і дозволяє зберегти градувальну таблицю (Рис. 4.12). Вона включає:

Ескіз резервуара: 3D-модель із зазначенням параметрів.

Повідомлення про збереження: Інформує про автоматичне збереження градувальної таблиці у файл .xlsx.

Кнопки керування:

«Зберегти у файл»: Дозволяє зберегти таблицю в вибраному місці.

«Звіт»: Переводить до вкладки формування звіту.

Роль: Вкладка забезпечує відображення результатів і їх збереження через Pandas і Openpyxl. Ескіз резервуара підвищує наочність.

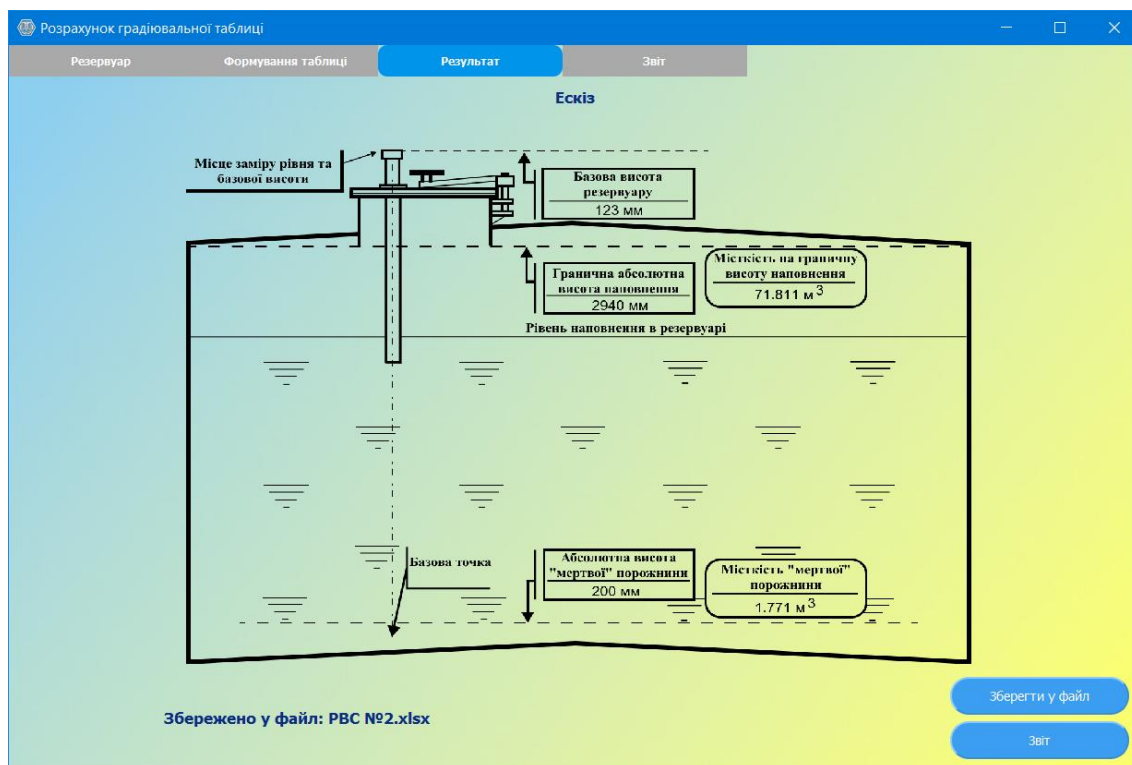


Рисунок 4.12 – Третя вкладка робочого вікна з відображенням ескізом

Вкладка «Звіт»

Функціонал: Вкладка призначена для формування вихідної документації у форматі .docx (Рис. 4.13). Вона включає:

Поля вводу: Для введення метаданих звіту (наприклад, назва організації, номер резервуара), які відображаються в документі.

Кнопку «Дата»: Відкриває календар для вибору дат реєстрації та вимірювання.

Кнопки «Очистити все» і «Очистити поле»: Дозволяють видалити введені дані.

Кнопку «Зберегти звіт»: Ініціює генерацію звіту, збереження у .docx із зеленим індикатором прогресу і повідомленням «Збережено у файл».

Повідомлення про помилки: У разі збою відображається повідомлення.

Роль: Вкладка автоматизує створення звітів із параметрами, таблицями і графіками, використовуючи Docxtrpl і PIL. Вона забезпечує професійну документацію, сумісну з метрологічними стандартами.

Рисунок 4.13 – Четверта вкладка робочого вікна

Інтерфейс користувача ПЗ «Автоматизований розрахунок градууювальної таблиці», розроблений на PyQt5 із використанням Qt Designer, забезпечує зручну та ефективну взаємодію з користувачем на всіх етапах калібрування. Вікно авторизації та головне вікно з чотирма вкладками («Резервуар», «Формування таблиці», «Результат», «Звіт») дозволяють вводити дані, обробляти хмари точок, виконувати сегментацію, обчислювати параметри, будувати градууювальну таблицю та генерувати звіти.

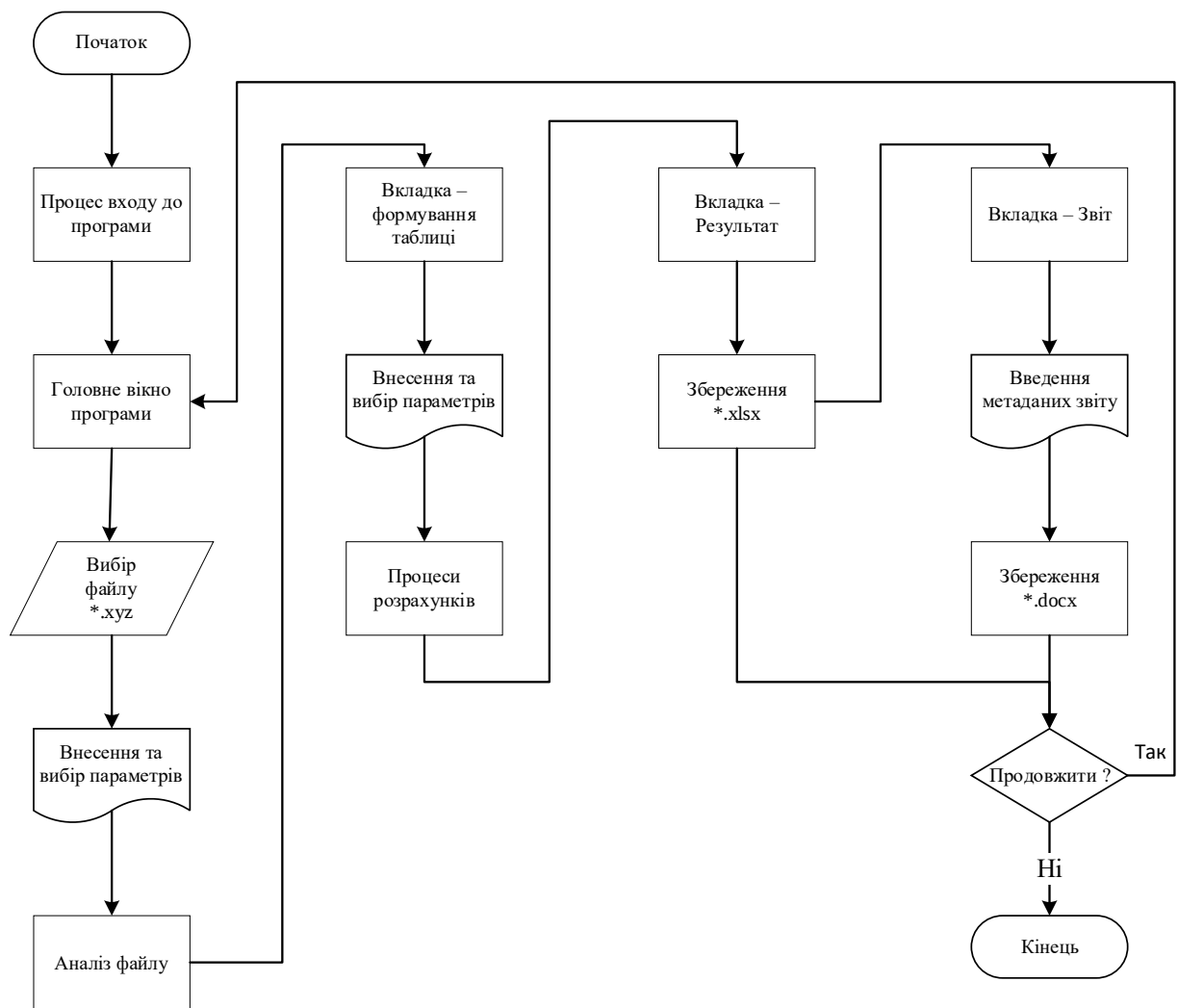


Рисунок 4.14 – Алгоритм роботи програмного забезпечення

На рисунку 4.14 представлено структурну схему алгоритму роботи програмного забезпечення «Автоматизований розрахунок градуювальної таблиці», яке реалізує повний технологічний цикл обробки 3D-даних резервуара – від введення вихідної інформації до формування звітної документації.

Алгоритм розпочинається з етапу входу до програми, що забезпечує контрольований доступ користувача до функціоналу системи. Після успішної авторизації відкривається головне вікно програми, яке містить вкладки, що відповідають послідовним етапам калібрування.

Таким чином, алгоритм роботи програмного забезпечення забезпечує логічно структурований, послідовний та автоматизований процес обробки 3D-

даних резервуара, мінімізує ймовірність помилок користувача та гарантує відтворюваність результатів калібрування відповідно до вимог метрологічної практики.

4.3 Методика використання

Методика детально розкриває послідовність дій користувача: від авторизації до генерації звітів, враховуючи введення даних, обробку великих хмар точок, запуск обчислень, а також перегляд результатів і створення документації.

Методика складається з п'яти основних етапів, кожен із яких відповідає певній вкладці в інтерфейсі ПЗ. Нижче наведено детальний опис дій користувача на кожному кроці.

1. Авторизація та реєстрація

Опис: Користувач запускає ПЗ і у вікні авторизації вводить логін і пароль (Рис. 4.6). Нові користувачі можуть зареєструватися, вказавши логін, пароль і отримавши підтвердження від адміністратора (Рис. 4.7).

Дії:

Введення логіну та пароля.

Перегляд символів пароля через іконку «Око».

Реєстрація (за потреби) з підтвердженням пароля та введенням пароля адміністратора.

Особливості:

У разі помилок (наприклад, невідповідність паролів) відображаються повідомлення.

Дані шифруються для безпеки.

Мета: Забезпечення контрольованого доступу до ПЗ.

2. Введення даних про резервуар (вкладка «Резервуар»)

Опис: Користувач вводить базові параметри резервуара та завантажує хмару точок для обробки (Рис. 4.9).

Дії:

Вибір типу резервуара (горизонтальний або вертикальний) і типу сканування (внутрішнє або зовнішнє) через радіо-кнопки.

Вказання базової висоти (мм) і номінальної місткості (м³).

Вибір форми днищ (плоскі, сферичні, еліптичні) для горизонтальних резервуарів через випадаючий список.

Завантаження файлу «.xyz» із хмарою точок через кнопку «Завантажити файл *.xyz».

Перехід до наступної вкладки кнопкою «Далі».

Особливості:

Некоректно заповнені поля підсвічуються червоним.

Ім'я завантаженого файлу відображається в інтерфейсі.

Мета: Підготовка даних для подальших обчислень із підтримкою різних типів резервуарів.

3. Запуск обчислень (вкладка «Формування таблиці»)

Опис: Користувач запускає автоматичне обчислення градувальної таблиці на основі введених даних і хмари точок (Рис. 4.11).

Дії:

Перегляд попереднього 3D-ескізу резервуара, створеного за допомогою бібліотеки Open3D.

Введення додаткових параметрів (наприклад, густина рідини для скраплених газів).

Активація прапорця «Резервуар для скрапленого газу» (за потреби).

Натиснення кнопки «Розрахувати градувальну таблицю» для запуску обчислень.

Особливості:

Обробка великих даних триває кілька хвилин, що відображається індикатором прогресу.

Мета: Автоматизація обчислень геометричних параметрів і побудова градувальної таблиці.

4. Перегляд результатів (вкладка «Результат»)

Опис: Користувач аналізує результати обчислень і зберігає градувальну таблицю (Рис. 4.12).

Дії:

Перегляд 3D-моделі резервуара з параметрами та похибками.

Отримання повідомлення про автоматичне збереження таблиці у форматі «.xlsx».

Використання кнопок:

«Повторно зберегти у файл» — для вибору іншого місця збереження.

«Завантажити дані» — для імпорту попередньої таблиці.

«Звіт» — для переходу до генерації звіту.

Особливості:

Візуалізація створена за допомогою Open3D, а таблиця формується через Pandas і Openpuxl.

Мета: Надання користувачу точних результатів і можливості їх збереження.

5. Генерація звіту (вкладка «Звіт»)

Опис: Користувач створює документацію з результатами калібрування (Рис. 4.13).

Дії:

Введення метаданих (назва організації, номер резервуара тощо).

Вибір дат реєстрації та вимірювання через кнопку «Дата».

Натиснення «Зберегти звіт» для генерації документа у форматі «.docx».

Очищення даних кнопками «Очистити все» або «Очистити поле» (за потреби).

Особливості:

Звіт включає параметри, таблиці, графіки, сформовані за допомогою Docxtempl і PIL.

У разі успіху відображається повідомлення «Збережено у файл», при помилках — відповідне сповіщення.

Мета: Створення професійного звіту, що відповідає метрологічним стандартам.

Висновки до розділу 4

У розділі здійснено програмно-апаратну реалізацію автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів, що забезпечує практичне впровадження вдосконаленого геометричного методу на основі 3D-сканування.

Розроблено систему керування процесом автоматизованого калібрування, яка інтегрує лазерний 3D-сканер, механічну систему вертикального позиціонування та апаратну підсистему керування на базі мікроконтролера. Показано, що використання телескопічної підйомної конструкції, крокового двигуна з драйвером мікрокрокового керування та кінцевих вимикачів забезпечує відтворюваність і безпечність позиціонування 3D-сканера в межах заданого робочого діапазону.

Реалізовано алгоритмічне забезпечення функціонування системи, яке включає формалізований алгоритм автоматизованої оцінки якості 3D-хмари точок, алгоритм адаптивного вертикального переміщення 3D-сканера, гібридний алгоритм сегментації хмари точок та алгоритм розрахунку об'єму горизонтального сталевих резервуара. Показано, що об'єднання цих алгоритмів у межах єдиного керованого циклу забезпечує автоматизацію повного процесу – від формування вимірювальних даних до побудови поміліметрової калібрувальної таблиці.

Розроблено програмне забезпечення автоматизованої системи з модульною архітектурою, що забезпечує імпорт 3D-даних, їх обробку, візуалізацію результатів, розрахунок геометричних параметрів та генерацію звітної документації. Інтерфейс користувача реалізує поетапну процедуру калібрування та мінімізує вплив людського фактора шляхом формалізації послідовності дій оператора.

Таким чином, у розділі продемонстровано завершену інтеграцію вимірювальної, механічної та програмної складових у межах єдиної автоматизованої програмно-апаратної системи. Реалізоване рішення забезпечує керованість процесу сканування, адаптивне позиціонування 3D-сканера, автоматизований розрахунок геометричних параметрів та формування калібрувальної таблиці, що створює технічні передумови для підвищення точності та відтворюваності калібрування резервуарів у промислових умовах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу підвищення точності калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів шляхом удосконалення геометричного методу на основі використання 3D-лазерного сканування та розроблення автоматизованої програмно-апаратної системи формування поміліметрової калібрувальної таблиці.

В роботі отримано такі результати:

1. Проаналізовано існуючі методи калібрування резервуарів та визначено їх обмеження. Встановлено, що гідростатичні та гравіметричні методи характеризуються високою трудомісткістю та залежністю від фізичних параметрів калібрувального середовища, тоді як класичний геометричний метод ґрунтується на спрощених припущеннях щодо ідеальної форми резервуара. Виявлено обмеження щодо автоматизації, зокрема відсутність процедур кількісної оцінки якості 3D-даних та адаптивного керування процесом сканування. Це обґрунтувало необхідність створення системи з замкненим автоматизованим контуром «сканування – оцінка якості – корекція положення – повторне сканування – розрахунок».

2. Розроблено структурну та аналітичну модель автоматизованої системи калібрування. Сформовано інтегровану модель, що об'єднує підсистеми 3D-сканування, керування положенням сканера, обробки хмари точок, визначення геометричних параметрів та формування калібрувальної таблиці. Формалізовано взаємозв'язок між параметрами сканування та кінцевою точністю визначення об'єму, що забезпечує узгодженість апаратної й алгоритмічної частин системи

3. Сформовано модель автоматизованої оцінки якості 3D-хмари точок. Розроблено систему кількісних критеріїв якості, що враховує щільність розподілу точок, рівень шуму, частку викидів і повноту покриття поверхні. Запропоновано алгоритм прийняття рішення щодо придатності хмари точок

для подальшої обробки та необхідності повторного сканування. Це дозволило мінімізувати вплив суб'єктивного фактору оператора.

4. Розроблено комбінований метод сегментації 3D-хмари точок. Запропоновано гібридний підхід, що поєднує ітераційний метод RANSAC для виділення циліндричної частини та алгоритм DBSCAN для кластеризації даних із подальшим уточненням меж на основі аналізу нормалей і кривизни. Експериментально підтверджено зменшення похибки визначення геометричних параметрів до 2–3% порівняно з використанням ізольованих алгоритмів.

5. Удосконалено геометричний метод розрахунку об'єму резервуара. Запропоновано підхід до визначення місткості резервуара з урахуванням фактичної геометрії поверхні, отриманої з 3D-хмари точок, що дозволяє враховувати експлуатаційні деформації, корозійні ушкодження та відхилення від номінальної форми. Це забезпечило розширення діапазону коректно визначених калібрувальних об'ємів та підвищення точності результатів.

6. Розроблено методику оцінки невизначеностей результатів калібрування. Сформовано підхід до оцінювання впливу шуму вимірювань, нерівномірності розподілу точок, пружних деформацій стінок, температурних змін і похибок вимірювальних приладів на визначення об'єму. Визначено структуру сумарної невизначеності та показано можливість її кількісного оцінювання в межах автоматизованої системи.

7. Реалізовано програмно-апаратну систему автоматизованого калібрування та експериментально перевірено її працездатність. Розроблено програмне забезпечення автоматизованого розрахунку поміліметрової калібрувальної таблиці та систему керування вертикальним переміщенням 3D-сканера. Експериментальні дослідження підтвердили узгодженість результатів із традиційними методами в межах допустимих відхилень, відсутність систематичної методичної похибки та підвищення відтворюваності результатів.

Таким чином, поставлена в роботі мета досягнута, а отримані результати підтверджують доцільність впровадження автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів у практику метрологічного забезпечення підприємств паливно-енергетичного комплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Meškuotiene, P. Kaškonas, E. Raudiene, J. Dobilienė, and B. G. Urbonavičius, «Calibration Periodicity of Fuel Tanks Assigned to Legal–Industrial Metrology: A Case Study», *Sustainability*, vol. 14, no. 16, p. 9817, 2022. doi: 10.3390/su14169817.
2. Okeke, «Towards sustainability in the global oil and gas industry: Identifying where the emphasis lies», *Environmental and Sustainability Indicators*, vol. 12, p. 100145, 2021. doi: 10.1016/j.indic.2021.100145.
3. Adekitan and O. Omoruyi, «Stock keeping accuracy: A data based investigation of storage tank calibration challenges», *Data in Brief*, vol. 19, pp. 2155–2162, 2018. doi: 10.1016/j.dib.2018.06.122.
4. Petroleum and liquid petroleum products — Tank calibration by liquid measurement — Incremental method using volumetric meters, ISO Standard 4269:2001, 2001.
5. Liquid Calibration of Tanks, API MPMS Chapter 2555, American Petroleum Institute, Washington, DC, USA, 2018.
6. Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks, API Standard 2551, American Petroleum Institute, Washington, DC, USA, 2019.
7. Petroleum and liquid petroleum products — Calibration of horizontal cylindrical tanks — Part 1: Manual methods, ISO Standard 12917-1:2017, 2017.
8. Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method, API MPMS Chapter 2.2A, American Petroleum Institute, Washington, DC, USA, 2014.
9. Petroleum and liquid petroleum products — Calibration of horizontal cylindrical tanks — Part 2: Internal electro-optical distance-ranging method, ISO Standard 12917-2:2002, 2002.
10. Calibration of Horizontal Cylindrical Tanks — Geometrical Method, API MPMS Chapter 2.2E, American Petroleum Institute, Washington, DC, USA, 2014.

11. РЕЗЕРВУАРИ СТАЛЕВІ ЦИЛІНДРИЧНІ ГОРИЗОНТАЛЬНІ
Методика повірки (калібрування) геометричним методом із застосуванням
геодезичних приладів, ДСТУ 7475:2016, ДП «Укрметртестстандарт», Київ,
2016.
12. Milinkovic, J. García-Balboa, and A. M. Ruiz-Armenteros, «An
Overview of Methods Applied To Quality Control Of Storage Tanks Volume»,
2020.
13. O. O. Agboola, B. O. Akinnuli, M. A. Akintunde, P. P. Ikubanni, and
A. A. Adeleke, «Comparative Analysis of Manual Strapping Method (MSM) and
Electro-Optical Distance Ranging (EODR) Method of Tank Calibration», *Journal of
Physics: Conference Series*, vol. 1378, pp. 1–11, 2019.
14. O. O. Agboola, B. O. Akinnuli, B. Kareem, et al., «Rating of
Geometrical Methods of Tank Calibration: F-TOPSIS Approach», *MAPAN*, vol. 39,
pp. 653–662, 2024. doi: 10.1007/s12647-024-00748-z.
15. Milinkovic, «3D LASER SCANNING AND IMAGING LASER
SCANNING IN STORAGE TANKS METROLOGY CONTROL PROCESS»,
STEPGRAD, vol. 1, no. 13, Oct. 2021.
16. M. Knyva, V. Knyva, Ž. Nakutis, et al., «A Concept of Fuel Tank
Calibration Process Automation Within IoT Infrastructure», *MAPAN*, vol. 32, pp.
7–15, 2017. doi: 10.1007/s12647-016-0193-1.
17. M. Knyva, V. Knyva, A. Meškuotienė, et al., «3D Laser Scanning
Pointcloud Processing Uncertainty Estimation for Fuel Tank Volume Calibration»,
MAPAN, vol. 35, no. 4, pp. 333–341, 2020. doi: 10.1007/s12647-020-00367-4.
18. J. Zhou and J. Zhang, «Monte Carlo Simulation on Automatic
Calibration Method of Horizontal Tanks», in *Proc. 6th Int. Asia Conf. Industrial
Engineering and Management Innovation*, Paris: Atlantis Press, 2016. doi:
10.2991/978-94-6239-145-1_54.
19. O. Samoilenko and V. Zaets, «Calibration of Tanks and Ships' Tanks
for Storage and Transportation of Liquids by Laser Scanning», *IntechOpen*, 2022.
doi: 10.5772/intechopen.100565.

20. Goda, G. L'Hostis, and P. Guerlain, «In-situ non-contact 3D optical deformation measurement of large capacity composite tank based on close-range photogrammetry», *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 119, pp. 37–55, 2019. doi: 10.1016/j.optlaseng.2019.02.006.
21. Y. Wan, L. Wang, F. Gao, P. Tian, and J. Lin, «Processing Method of Horizontal Tank Capacity Based on VAB and OLE Technology», in *2021 IEEE 15th Int. Conf. Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, Nanjing, China, 2021, pp. 292–295. doi: 10.1109/ICEMI52946.2021.9679585.
22. *Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks*, API MPMS Chapter 2.2, American Petroleum Institute, Washington, DC, USA, 2020.
23. *Calibration of vertical cylindrical tanks — Part 2: Optical-reference-line method or electro-optical distance-ranging method*, ISO Standard 7507-2:2022, Geneva, Switzerland, 2022.
24. *Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Optical Reference Line Method*, API MPMS Chapter 2.2B, American Petroleum Institute, Washington, DC, USA, 2014.
25. *Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Optical-Triangulation Method*, API MPMS Chapter 2.2C, American Petroleum Institute, Washington, DC, USA, 2014.
26. H. K. Surmen et al., «Photogrammetry for 3D Reconstruction of Objects: Effects of Geometry, Texture and Photographing», *Image Analysis & Stereology*, vol. 42, pp. 51–63, 2023. doi: 10.5566/ias.2887.
27. S. I. Deliry and Ü. Avdan, «Accuracy evaluation of UAS photogrammetry and structure from motion in 3D modeling and volumetric calculations», *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 17, no. 2, 2023. doi: 10.1117/1.JRS.17.024515.
28. Asis Automation Systems, «CalibeX 3D Laser Tank Calibration System», Asis Automation. [Online]. Available: <https://www.calibex3d.com>.
29. Dover Fueling Solutions, «ProGauge™ 3D Laser Scan Automatic Tank Calibration». [Online]. Available: <https://www.doverfuelingsolutions.com>.

30. V. Knyva and M. Knyva, «Influence of 3D Scanning Data Scattering to Volume Measurement of Horizontal Fuel Tanks», ELEKTRON ELEKTROTECH, vol. 20, no. 5, pp. 72–75, May 2014. doi: 10.5755/j01.eee.20.5.7102.
31. M. Knyva, V. Knyva, and Ž. Nakutis, «A concept of fuel tank calibration process automation within IoT infrastructure», MAPAN, vol. 32, no. 9, pp. 7–15, 2017. doi: 10.1007/s12647-016-0193-1.
32. M. Knyva, V. Knyva, A. Meškuotienė, et al., «3D Laser Scanning Pointcloud Processing Uncertainty Estimation for Fuel Tank Volume Calibration», MAPAN, vol. 35, no. 4, pp. 333–341, 2020. doi: 10.1007/s12647-020-00367-4.
33. SGS, «Tank Calibration Services». [Online]. Available: <https://www.sgs.com/en/services/tank-calibration-services>.
34. Intertek, «Tank Calibration Services». [Online]. Available: <https://www.intertek.com/petroleum/tank-calibration/>.
35. PYEI Sone Hein Group, «3D Laser Tank Calibration System», PSH Global Group. [Online]. Available: <https://www.pshglobalgroup.com/product/3d-laser-tank-calibration-system/>.
36. Technoton, «Automatic Tank Calibration Station». [Online]. Available: <https://jv-technoton.com/products/automatic-tank-calibration-station/>.
37. Sanki Industry Group, «Tank Calibration System». [Online]. Available: <https://www.sankichina.fr/product/tank-calibration-24.html>.
38. LPG-Term, «Рівнеміри для резервуарів». [Online]. Available: <https://www.lpg-term.com.ua/obladnannya/rivnemir.html>.
39. D. Proskurenko, M. Bezuglyi, O. Tretiak, and M. Filippova, «Review of calibration methods for cylindrical steel vertical oil storage tanks», Енергетика та автоматика, no. 2, pp. 96–104, 2023.
40. Д. М. Проскуренко та М. Безуглий, «Структурна схема автоматизованої системи калібрування резервуарів», у Мат. XIX Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023, с. 142–145.

41. J. Åström and R. M. Murray, *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton, NJ, USA: Princeton Univ. Press, 2008.
42. М. Г. Попович та О. В. Ковальчук, *Теорія автоматичного керування: Підручник, 2-ге вид.* Київ: Либідь, 2007.
43. О. Н. Харабет, *Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера*. Одеса: Бахва, 2014.
44. V. Petras, A. Petrasova, J. B. McCarter, H. Mitasova, and R. K. Meentemeyer, «Point Density Variations in Airborne Lidar Point Clouds», *Sensors*, vol. 23, no. 3, p. 1593, 2023. doi: 10.3390/s23031593.
45. T. Li, R. Lou, A. Polette, Z. Shao, D. Nozais, and J.-P. Pernot, «On the Use of Quality Metrics to Characterize Structured Light-based Point Cloud Acquisitions», *CAD Conf. Proc.*, pp. 344–349, 2022. doi: 10.14733/cadconfP.2022.344-349.
46. Ma, J. Han, Y. Fan, L. Tang, and H. Zhao, «PQM: A Point Quality Evaluation Metric for Dense Maps», *arXiv preprint arXiv:2306.03660*, 2023.
47. J. Cheng, J. Ye, C. Wang, and G. H. Lee, «Point Cloud Completion: A Survey», *arXiv preprint arXiv:2508.11932*, 2025.
48. D. Proskurenko and M. Bezuglyi, «Integrated approach for 3D point cloud segmentation in tank calibration», *Вісник КПІ. Серія Приладобудування*, вип. 69(1), с. 75–81, 2025.
49. Fischler and R. C. Bolles, «Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography», *Commun. ACM*, vol. 24, no. 6, pp. 381–395, Jun. 1981. doi: 10.1145/358669.358692.
50. T. Rabbani, F. A. van den Heuvel, and G. Vosselman, «Segmentation of point clouds using smoothness constraints», in *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XXXVI-5, Dresden, Germany, 2007, pp. 248–253.

51. Li et al., «An improved RANSAC for 3D point cloud plane segmentation based on normal distribution transformation cells», *Remote Sens.*, vol. 9, no. 5, p. 433, May 2017. doi: 10.3390/rs9050433.
52. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander, and X. Xu, «A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise», in *Proc. 2nd Int. Conf. Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*, Portland, OR, USA, 1996, pp. 226–231.
53. T. Czerniawski, B. Sankaran, M. Nahangi, C. Haas, and F. Leite, «6D DBSCAN-based segmentation of building point clouds for planar object classification», *Autom. Construct.*, vol. 88, pp. 44–58, Apr. 2018. doi: 10.1016/j.autcon.2017.12.029.
54. D. Proskurenko and M. Bezuglyi, «An automated system for calibration table calculation of cylindrical horizontal tanks», *IAPGOS*, vol. 16, no. 1, pp. 29–34, 2026. doi: 10.35784/iapgos.7408.
55. R. L. Graham, «An Efficient Algorithm for Determining the Convex Hull of a Finite Planar Set», *Inf. Process. Lett.*, vol. 1, no. 4, pp. 132–133, 1972.
56. M. Kazhdan, M. Bolitho, and H. Hoppe, «Poisson Surface Reconstruction», in *Proc. 4th Eurographics Symp. Geometry Processing*, 2006, pp. 61–70.
57. F. Bernardini, J. Mittleman, H. Rushmeier, C. Silva, and G. Taubin, «The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction», *IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics*, vol. 5, no. 4, pp. 349–359, 1999.
58. H. Edelsbrunner, D. Kirkpatrick, and R. Seidel, «On the Shape of a Set of Points in the Plane», *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 29, no. 4, pp. 551–559, 1983.
59. «FARO Focus3D X 130 Laser Scanner», FARO Ukraine. [Online]. Available: https://faroukraine.com/katalog/scanners_focus3d/focus3d_x130/.
60. «Nedo Two-way Tripod for Laser Scanners (210710)», Recon Survey and Safety. [Online]. Available: <https://reconsurveyandsafety.co.uk/product/nedo-two-way-tripod-for-laser-scanners-210710/>.

61. «Arduino Mega 2560 Hardware Documentation», Arduino.ua. [Online]. Available: <https://doc.arduino.ua/hardware/Mega2560>.
62. «Stepper Motor 17HS2401 (42BYGH40) NEMA 17», RCS Components. [Online]. Available: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/motor-krokovyi-17hs2401-42bygh40-nema-17_174519.html.
63. «A4988 Stepper Motor Driver Carrier», RCS Components. [Online]. Available: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/draiver-krokovoho-dvyhuna-a4988_41490.html.
64. Д. М. Проскурено та М. Безуглий, «Програмна реалізація автоматизованої системи калібрування циліндричних резервуарів», Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, вип. 4, с. 400–406, 2025.
65. Д. М. Проскурено, «Алгоритм визначення рівнів калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних», у Мат. XVI Всеукр. наук.-практ. конф. «Погляд у майбутнє приладобудування», Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023, с. 120–122.
66. Д. М. Проскурено та М. Безуглий, «Алгоритмічне забезпечення калібрування резервуарів сталевих циліндричних горизонтальних геометричним методом», у Мат. XXII Міжнар. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023, с. 93–95.
67. «Limit Switch ASKO ME-8104», Amperok. [Online]. Available: <https://amperok.com.ua>.
68. Python Software Foundation, «Python Language Reference, version 3.x». [Online]. Available: <https://www.python.org>.
69. PyQt5 Development Team, «PyQt5 Reference Guide», Riverbank Computing. [Online]. Available: <https://www.riverbankcomputing.com>.
70. C. R. Harris et al., «Array programming with NumPy», Nature, vol. 585, no. 7825, pp. 357–362, 2020. [Online]. Available: <https://numpy.org>.

71. Virtanen et al., «SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python», Nature Methods, vol. 17, pp. 261–272, 2020. [Online]. Available: <https://scipy.org>.
72. Q.-Y. Zhou, J. Park, and V. Koltun, «Open3D: A Modern Library for 3D Data Processing», arXiv preprint arXiv:1801.09847, 2018. [Online]. Available: <http://www.open3d.org>.
73. Pandas Development Team, «pandas-dev/pandas: Pandas», Zenodo, 2020. [Online]. Available: <https://pandas.pydata.org>.
74. E. Gazoni and C. Clark, «openpyxl - A Python library to read/write Excel 2010 xlsx/xlsm files». [Online]. Available: <https://openpyxl.readthedocs.io>.
75. J. B. Clark et al., «Pillow (PIL Fork) Documentation». [Online]. Available: <https://python-pillow.org>.
76. E. Lapouze, «docxtpl: Python docx template engine». [Online]. Available: <https://docxtpl.readthedocs.io>.
77. Python Software Foundation, «multiprocessing — Process-based parallelism». [Online]. Available: <https://docs.python.org>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ГРАДУЮВАЛЬНІ ТАБЛИЦІ

(поміліметрові інтервали)

Таблиця А.1. Градувальна таблиця РГС-75 розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення Мм	Об'єм сегменту (м ³)	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	3,6146E-06	3,6146E-06	3,6146E-07
10	0,001336559	0,00134017	0,000133656
20	0,004394687	0,00573486	0,000439469
30	0,007899745	0,01363461	0,000789975
40	0,011513972	0,02514858	0,001151397
50	0,01524252	0,0403911	0,001524252
60	0,019354802	0,0597459	0,00193548
70	0,023346794	0,0830927	0,002334679
80	0,027871474	0,11096417	0,002787147
90	0,032243745	0,14320791	0,003224375
100	0,037130268	0,18033818	0,003713027
110	0,042443234	0,22278142	0,004244323
120	0,048024498	0,27080591	0,00480245
130	0,053935791	0,32474171	0,005393579
140	0,060047357	0,38478906	0,006004736
150	0,066466975	0,45125604	0,006646697
160	0,07337665	0,52463269	0,007337665
170	0,080738009	0,6053707	0,008073801
180	0,088076198	0,69344689	0,00880762
190	0,094848247	0,78829514	0,009484825
200	0,101178361	0,8894735	0,010117836
210	0,107024136	0,99649764	0,010702414
220	0,112452989	1,10895063	0,011245299
230	0,117639604	1,22659023	0,01176396
240	0,122626794	1,34921703	0,012262679
250	0,127379531	1,47659656	0,012737953
260	0,13198281	1,60857937	0,013198281
270	0,136432091	1,74501146	0,013643209
280	0,140743106	1,88575456	0,014074311
290	0,144908491	2,03066305	0,014490849
300	0,148978207	2,17964126	0,014897821
310	0,152928549	2,33256981	0,015292855
320	0,156695667	2,48926548	0,015669567

330	0,160274259	2,64953974	0,016027426
340	0,163861363	2,8134011	0,016386136
350	0,167344208	2,98074531	0,016734421
360	0,170780389	3,1515257	0,017078039
370	0,174073329	3,32559902	0,017407333
380	0,177295596	3,50289462	0,01772956
390	0,180441946	3,68333657	0,018044195
400	0,183486333	3,8668229	0,018348633
410	0,186454297	4,0532772	0,01864543
420	0,189545418	4,24282262	0,018954542
430	0,19238358	4,4352062	0,019238358
440	0,1952553	4,6304615	0,01952553
450	0,198027346	4,82848884	0,019802735
460	0,200780818	5,02926966	0,020078082
470	0,203347605	5,23261727	0,02033476
480	0,205969428	5,43858669	0,020596943
490	0,208540462	5,64712716	0,020854046
500	0,210975629	5,85810278	0,021097563
510	0,213424685	6,07152747	0,021342469
520	0,215780175	6,28730765	0,021578017
530	0,218069352	6,505377	0,021806935
540	0,220279542	6,72565654	0,022027954
550	0,22247432	6,94813086	0,022247432
560	0,224619164	7,17275002	0,022461916
570	0,22671426	7,39946428	0,022671426
580	0,228777856	7,62824214	0,022877786
590	0,230854017	7,85909616	0,023085402
600	0,232809174	8,09190533	0,023280917
610	0,234759672	8,326665	0,023475967
620	0,236662424	8,56332743	0,023666242
630	0,238526341	8,80185377	0,023852634
640	0,24036824	9,04222201	0,024036824
650	0,242180189	9,2844022	0,024218019
660	0,243927656	9,52832985	0,024392766
670	0,24567735	9,7740072	0,024567735
680	0,247391292	10,0213985	0,024739129

690	0,249095124	10,2704936	0,024909512
700	0,250745435	10,5212391	0,025074543
710	0,252376497	10,7736156	0,02523765
720	0,254000956	11,0276165	0,025400096
730	0,255560193	11,2831767	0,025556019
740	0,257145926	11,5403226	0,025714593
750	0,258643061	11,7989657	0,025864306
760	0,260162514	12,0591282	0,026016251
770	0,261630595	12,3207588	0,02616306
780	0,263059277	12,5838181	0,026305928
790	0,264469086	12,8482872	0,026446909
800	0,265885533	13,1141727	0,026588553
810	0,267255786	13,3814285	0,026725579
820	0,268616507	13,650045	0,026861651
830	0,269926876	13,9199719	0,026992688
840	0,271253768	14,1912256	0,027125377
850	0,272499607	14,4637252	0,027249961
860	0,273801119	14,7375264	0,027380112
870	0,274986077	15,0125124	0,027498608
880	0,276237246	15,2887497	0,027623725
890	0,277406743	15,5661564	0,027740674
900	0,278586273	15,8447427	0,027858627
910	0,279739879	16,1244826	0,027973988
920	0,280846625	16,4053292	0,028084663
930	0,281992519	16,6873217	0,028199252
940	0,283066551	16,9703883	0,028306655
950	0,284156724	17,254545	0,028415672
960	0,285187418	17,5397324	0,028518742
970	0,286221913	17,8259543	0,028622191
980	0,287231697	18,113186	0,02872317
990	0,288241454	18,4014275	0,028824145
1000	0,28916957	18,690597	0,028916957
1010	0,29014051	18,9807376	0,029014051
1020	0,291073338	19,2718109	0,029107334
1030	0,291996786	19,5638077	0,029199679
1040	0,292903853	19,8567115	0,029290385
1050	0,293783764	20,1504953	0,029378376
1060	0,294640235	20,4451355	0,029464024
1070	0,295502644	20,7406382	0,029550264
1080	0,296328221	21,0369664	0,029632822
1090	0,29713552	21,3341019	0,029713552
1100	0,297921543	21,6320235	0,029792154
1110	0,298702334	21,9307258	0,029870233
1120	0,29949428	22,2302201	0,029949428
1130	0,300213488	22,5304336	0,030021349
1140	0,300951653	22,8313852	0,030095165

1150	0,301663558	23,1330488	0,030166356
1160	0,302345073	23,4353938	0,030234507
1170	0,303017707	23,7384116	0,030301771
1180	0,303696295	24,0421078	0,030369629
1190	0,304328586	24,3464364	0,030432859
1200	0,30494749	24,6513839	0,030494749
1210	0,305537427	24,9569214	0,030553743
1220	0,306136508	25,2630579	0,030613651
1230	0,30673042	25,5697883	0,030673042
1240	0,30728632	25,8770746	0,030728632
1250	0,307820329	26,1848949	0,030782033
1260	0,30837109	26,493266	0,030837109
1270	0,308863767	26,8021298	0,030886377
1280	0,309369601	27,1114994	0,03093696
1290	0,309812927	27,4213123	0,030981293
1300	0,310287529	27,7315998	0,031028753
1310	0,31072079	28,0423206	0,031072079
1320	0,31117083	28,3534915	0,031117083
1330	0,311531527	28,665023	0,031153153
1340	0,311949782	28,9769728	0,031194978
1350	0,312315044	29,2892878	0,031231504
1360	0,312679242	29,6019671	0,031267924
1370	0,313028977	29,914996	0,031302898
1380	0,313357271	30,2283533	0,031335727
1390	0,31369072	30,542044	0,031369072
1400	0,313945806	30,8559898	0,031394581
1410	0,314282048	31,1702719	0,031428205
1420	0,314526641	31,4847985	0,031452664
1430	0,314802809	31,7996013	0,031480281
1440	0,315026061	32,1146274	0,031502606
1450	0,315235984	32,4298634	0,031523598
1460	0,315462249	32,7453256	0,031546225
1470	0,315626762	33,0609524	0,031562676
1480	0,315839472	33,3767919	0,031583947
1490	0,315993314	33,6927852	0,031599331
1500	0,316140127	34,0089253	0,031614013
1510	0,316252416	34,3251777	0,031625242
1520	0,316357847	34,6415356	0,031635785
1530	0,31642488	34,9579604	0,031642488
1540	0,316523608	35,274484	0,031652361
1550	0,316585928	35,59107	0,031658593
1560	0,316629673	35,9076996	0,031662967
1570	0,316665503	36,2243652	0,03166655
1580	0,316695923	36,5410611	0,031669592
1590	0,316702623	36,8577637	0,031670262
1600	0,316705821	37,1744695	0,031670582

1610	0,316683657	37,4911532	0,031668366
1620	0,316639204	37,8077924	0,03166392
1630	0,316594468	38,1243868	0,031659447
1640	0,316551834	38,4409387	0,031655183
1650	0,316454096	38,7573928	0,03164541
1660	0,316374108	39,0737669	0,031637411
1670	0,316280241	39,3900471	0,031628024
1680	0,316121117	39,7061682	0,031612112
1690	0,315980549	40,0221488	0,031598055
1700	0,315809817	40,3379586	0,031580982
1710	0,31566694	40,6536255	0,031566694
1720	0,315442929	40,9690685	0,031544293
1730	0,315237973	41,2843065	0,031523797
1740	0,315009207	41,5993157	0,031500921
1750	0,314774988	41,9140906	0,031477499
1760	0,314554945	42,2286456	0,031455495
1770	0,314236121	42,5428817	0,031423612
1780	0,313974109	42,8568558	0,031397411
1790	0,313650463	43,1705063	0,031365046
1800	0,31336228	43,4838686	0,031336228
1810	0,312975057	43,7968436	0,031297506
1820	0,312630901	44,1094745	0,03126309
1830	0,312278156	44,4217527	0,031227816
1840	0,311876015	44,7336287	0,031187602
1850	0,311464664	45,0450934	0,031146466
1860	0,311031893	45,3561253	0,031103189
1870	0,310639359	45,6667646	0,031063936
1880	0,310126566	45,9768912	0,031012657
1890	0,309689043	46,2865802	0,030968904
1900	0,30918843	46,5957687	0,030918843
1910	0,308687345	46,904456	0,030868734
1920	0,30816138	47,2126174	0,030816138
1930	0,307612203	47,5202296	0,03076122
1940	0,307054589	47,8272842	0,030705459
1950	0,30643279	48,133717	0,030643279
1960	0,305912657	48,4396296	0,030591266
1970	0,305264836	48,7448945	0,030526484
1980	0,30469074	49,0495852	0,030469074
1990	0,303992048	49,3535772	0,030399205
2000	0,303335258	49,6569125	0,030333526
2010	0,302645805	49,9595583	0,03026458
2020	0,301956813	50,2615151	0,030195681
2030	0,301256172	50,5627713	0,030125617
2040	0,300514992	50,8632863	0,030051499
2050	0,299788515	51,1630748	0,029978852
2060	0,298960901	51,4620357	0,02989609

2070	0,298227646	51,7602633	0,029822765
2080	0,297346104	52,0576094	0,02973461
2090	0,29646016	52,3540696	0,029646016
2100	0,295587224	52,6496568	0,029558722
2110	0,294712765	52,9443696	0,029471277
2120	0,293974445	53,238344	0,029397445
2130	0,29305549	53,5313995	0,029305549
2140	0,292142024	53,8235416	0,029214202
2150	0,291135655	54,1146772	0,029113565
2160	0,290197869	54,4048751	0,029019787
2170	0,2891609	54,694036	0,02891609
2180	0,288163869	54,9821998	0,028816387
2190	0,287199639	55,2693995	0,028719964
2200	0,286131366	55,5555309	0,028613137
2210	0,28509382	55,8406247	0,028509382
2220	0,284031931	56,1246566	0,028403193
2230	0,283016059	56,4076727	0,028301606
2240	0,281861238	56,6895339	0,028186124
2250	0,280769912	56,9703038	0,028076991
2260	0,27959711	57,2499009	0,027959711
2270	0,278452602	57,5283535	0,02784526
2280	0,277281481	57,805635	0,027728148
2290	0,276125644	58,0817606	0,027612564
2300	0,274887349	58,356648	0,027488735
2310	0,273690141	58,6303381	0,027369014
2320	0,272367681	58,9027058	0,027236768
2330	0,27115855	59,1738644	0,027115855
2340	0,269818365	59,4436827	0,026981836
2350	0,268545934	59,7122287	0,026854593
2360	0,267206295	59,979435	0,02672063
2370	0,26582117	60,2452561	0,026582117
2380	0,264457134	60,5097133	0,026445713
2390	0,263038178	60,7727514	0,026303818
2400	0,261594032	61,0343455	0,026159403
2410	0,260100963	61,2944464	0,026010096
2420	0,258665675	61,5531121	0,025866567
2430	0,257136755	61,8102489	0,025713676
2440	0,255606385	62,0658553	0,025560638
2450	0,254023328	62,3198786	0,025402333
2460	0,252477088	62,5723557	0,025247709
2470	0,250831025	62,8231867	0,025083102
2480	0,249229732	63,0724164	0,024922973
2490	0,247528727	63,3199452	0,024752873
2500	0,245758977	63,5657041	0,024575898
2510	0,243975835	63,80968	0,024397584
2520	0,242167661	64,0518476	0,024216766

2530	0,239892799	64,2917404	0,02398928
2540	0,238434583	64,530175	0,023843458
2550	0,237051648	64,7672267	0,023705165
2560	0,235277456	65,0025041	0,023527746
2570	0,233474165	65,2359783	0,023347417
2580	0,231574483	65,4675528	0,023157448
2590	0,229645293	65,6971981	0,022964529
2600	0,227679616	65,9248777	0,022767962
2610	0,225665161	66,1505428	0,022566516
2620	0,223637203	66,37418	0,02236372
2630	0,221528788	66,5957088	0,022152879
2640	0,219395285	66,8151041	0,021939529
2650	0,217070098	67,0321742	0,02170701
2660	0,214435637	67,2466098	0,021443564
2670	0,212126918	67,4587368	0,021212692
2680	0,210263957	67,6690007	0,021026396
2690	0,208016953	67,8770177	0,020801695
2700	0,205811774	68,0828294	0,020581177
2710	0,203468018	68,2862975	0,020346802
2720	0,201119782	68,4874172	0,020111978
2730	0,198681743	68,686099	0,019868174
2740	0,196155025	68,882254	0,019615502
2750	0,193640348	69,0758944	0,019364035
2760	0,191021684	69,266916	0,019102168
2770	0,188327143	69,4552432	0,018832714
2780	0,185601306	69,6408445	0,018560131
2790	0,182864238	69,8237087	0,018286424
2800	0,179992441	70,0037012	0,017999244
2810	0,177105877	70,180807	0,017710588
2820	0,174133228	70,3549403	0,017413323
2830	0,171103413	70,5260437	0,017110341
2840	0,168001495	70,6940452	0,01680015

2850	0,164793975	70,8588392	0,016479397
2860	0,16154656	71,0203857	0,016154656
2870	0,158209022	71,1785947	0,015820902
2880	0,154777718	71,3333725	0,015477772
2890	0,151234253	71,4846067	0,015123425
2900	0,147563241	71,63217	0,014756324
2910	0,143778647	71,7759486	0,014377865
2920	0,139896078	71,9158447	0,013989608
2930	0,135874124	72,0517188	0,013587412
2940	0,131691406	72,1834102	0,013169141
2950	0,127381402	72,3107916	0,01273814
2960	0,122863034	72,4336546	0,012286303
2970	0,118127331	72,551782	0,011812733
2980	0,113144652	72,6649266	0,011314465
2990	0,107892608	72,7728192	0,010789261
3000	0,102189418	72,8750087	0,010218942
3010	0,095923696	72,9709324	0,00959237
3020	0,08890166	73,059834	0,008890166
3030	0,081035181	73,1408692	0,008103518
3040	0,073657732	73,2145269	0,007365773
3050	0,066702344	73,2812293	0,006670234
3060	0,059825351	73,3410546	0,005982535
3070	0,053109319	73,3941639	0,005310932
3080	0,046817973	73,4409819	0,004681797
3090	0,041837881	73,4828198	0,004183788
3100	0,036884095	73,5197039	0,00368841
3110	0,030051033	73,5497549	0,003005103
3120	0,021935773	73,5716907	0,002193577
3130	0,014765645	73,5864563	0,001476564
3140	0,009914022	73,5963704	0,000991402
3150	0,005425133	73,6017955	0,000542513
3160	0,001861696	73,6036572	0,00018617
3164	0,000155795	73,603813	1,55795E-05

Таблиця А.2. Градувальна таблиця РГС-75 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м ³	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,031	0,002
1	0,051	0,0026
2	0,077	0,0035
3	0,112	0,0045
4	0,157	0,0055
5	0,212	0,0064
6	0,276	0,0072

7	0,347	0,0078
8	0,426	0,0085
9	0,511	0,009
10	0,601	0,0096
11	0,697	0,0101
12	0,798	0,0106
13	0,904	0,0111
14	1,014	0,0115
15	1,13	0,012

16	1,25	0,0124
17	1,374	0,0128
18	1,502	0,0132
19	1,635	0,0136
20	1,771	0,014
21	1,911	0,0144
22	2,055	0,0147
23	2,202	0,0151
24	2,353	0,0154
25	2,507	0,0158
26	2,665	0,0161
27	2,826	0,0164
28	2,989	0,0167
29	3,156	0,0169
30	3,325	0,0172
31	3,497	0,0175
32	3,672	0,0178
33	3,85	0,018
34	4,03	0,0183
35	4,212	0,0185
36	4,397	0,0187
37	4,584	0,0189
38	4,774	0,0191
39	4,965	0,0194
40	5,159	0,0196
41	5,355	0,0198
42	5,552	0,02
43	5,752	0,0202
44	5,954	0,0204
45	6,158	0,0206
46	6,363	0,0208
47	6,571	0,0209
48	6,78	0,0211
49	6,991	0,0213
50	7,205	0,0215
51	7,419	0,0217
52	7,636	0,0218
53	7,854	0,022
54	8,075	0,0222
55	8,296	0,0223
56	8,52	0,0225
57	8,745	0,0227
58	8,971	0,0228
59	9,2	0,023
60	9,429	0,0231
61	9,661	0,0233

62	9,893	0,0234
63	10,128	0,0236
64	10,363	0,0237
65	10,6	0,0239
66	10,839	0,024
67	11,079	0,0241
68	11,32	0,0243
69	11,563	0,0244
70	11,806	0,0245
71	12,052	0,0246
72	12,298	0,0248
73	12,546	0,0249
74	12,795	0,025
75	13,045	0,0251
76	13,296	0,0253
77	13,549	0,0254
78	13,802	0,0255
79	14,057	0,0256
80	14,313	0,0257
81	14,57	0,0258
82	14,828	0,0259
83	15,088	0,026
84	15,348	0,0261
85	15,609	0,0262
86	15,872	0,0263
87	16,135	0,0264
88	16,399	0,0265
89	16,665	0,0266
90	16,931	0,0267
91	17,198	0,0268
92	17,466	0,0269
93	17,735	0,027
94	18,005	0,0271
95	18,276	0,0272
96	18,548	0,0273
97	18,821	0,0274
98	19,094	0,0274
99	19,369	0,0275
100	19,644	0,0276
101	19,92	0,0277
102	20,197	0,0278
103	20,475	0,0278
104	20,753	0,0279
105	21,032	0,028
106	21,312	0,0281
107	21,593	0,0281

108	21,874	0,0282
109	22,156	0,0283
110	22,439	0,0283
111	22,722	0,0284
112	23,007	0,0285
113	23,291	0,0285
114	23,577	0,0286
115	23,863	0,0287
116	24,15	0,0287
117	24,437	0,0288
118	24,725	0,0288
119	25,013	0,0289
120	25,302	0,029
121	25,592	0,029
122	25,882	0,0291
123	26,172	0,0291
124	26,463	0,0292
125	26,755	0,0292
126	27,047	0,0292
127	27,339	0,0293
128	27,632	0,0293
129	27,925	0,0294
130	28,219	0,0294
131	28,513	0,0294
132	28,808	0,0295
133	29,103	0,0295
134	29,398	0,0296
135	29,693	0,0296
136	29,989	0,0296
137	30,285	0,0296
138	30,582	0,0297
139	30,879	0,0297
140	31,176	0,0297
141	31,473	0,0298
142	31,771	0,0298
143	32,068	0,0298
144	32,367	0,0298
145	32,665	0,0299
146	32,963	0,0299
147	33,262	0,0299
148	33,561	0,0299
149	33,86	0,0299
150	34,159	0,0299
151	34,458	0,0299
152	34,758	0,03
153	35,057	0,03

154	35,357	0,03
155	35,657	0,03
156	35,957	0,03
157	36,257	0,03
158	36,557	0,03
159	36,856	0,03
160	37,156	0,03
161	37,456	0,03
162	37,756	0,03
163	38,056	0,03
164	38,356	0,03
165	38,656	0,03
166	38,955	0,03
167	39,255	0,0299
168	39,555	0,0299
169	39,854	0,0299
170	40,153	0,0299
171	40,452	0,0299
172	40,751	0,0299
173	41,05	0,0299
174	41,349	0,0298
175	41,647	0,0298
176	41,945	0,0298
177	42,243	0,0298
178	42,541	0,0297
179	42,838	0,0297
180	43,136	0,0297
181	43,433	0,0297
182	43,729	0,0296
183	44,026	0,0296
184	44,322	0,0296
185	44,617	0,0295
186	44,913	0,0295
187	45,208	0,0295
188	45,503	0,0294
189	45,797	0,0294
190	46,091	0,0294
191	46,385	0,0293
192	46,678	0,0293
193	46,971	0,0292
194	47,263	0,0292
195	47,555	0,0291
196	47,847	0,0291
197	48,138	0,0291
198	48,428	0,029
199	48,718	0,029

200	49,008	0,0289
201	49,297	0,0289
202	49,586	0,0288
203	49,874	0,0287
204	50,161	0,0287
205	50,448	0,0286
206	50,734	0,0286
207	51,02	0,0285
208	51,305	0,0285
209	51,59	0,0284
210	51,874	0,0283
211	52,157	0,0283
212	52,44	0,0282
213	52,722	0,0281
214	53,003	0,0281
215	53,284	0,028
216	53,563	0,0279
217	53,843	0,0278
218	54,121	0,0278
219	54,399	0,0277
220	54,676	0,0276
221	54,952	0,0275
222	55,227	0,0275
223	55,502	0,0274
224	55,776	0,0273
225	56,049	0,0272
226	56,321	0,0271
227	56,592	0,027
228	56,862	0,0269
229	57,132	0,0269
230	57,4	0,0268
231	57,668	0,0267
232	57,935	0,0266
233	58,2	0,0265
234	58,465	0,0264
235	58,729	0,0263
236	58,992	0,0262
237	59,253	0,0261
238	59,514	0,026
239	59,773	0,0258
240	60,032	0,0257
241	60,289	0,0256
242	60,545	0,0255
243	60,801	0,0254
244	61,054	0,0253
245	61,307	0,0252

246	61,559	0,025
247	61,809	0,0249
248	62,058	0,0248
249	62,306	0,0247
250	62,553	0,0245
251	62,798	0,0244
252	63,042	0,0243
253	63,285	0,0241
254	63,526	0,024
255	63,766	0,0239
256	64,005	0,0237
257	64,242	0,0236
258	64,478	0,0234
259	64,713	0,0233
260	64,945	0,0231
261	65,177	0,023
262	65,407	0,0228
263	65,635	0,0227
264	65,862	0,0225
265	66,087	0,0224
266	66,311	0,0222
267	66,533	0,022
268	66,754	0,0219
269	66,972	0,0217
270	67,189	0,0215
271	67,405	0,0214
272	67,619	0,0212
273	67,83	0,021
274	68,04	0,0208
275	68,249	0,0206
276	68,455	0,0204
277	68,66	0,0203
278	68,862	0,0201
279	69,063	0,0199
280	69,261	0,0197
281	69,458	0,0195
282	69,652	0,0192
283	69,845	0,019
284	70,035	0,0188
285	70,223	0,0186
286	70,409	0,0184
287	70,593	0,0181
288	70,774	0,0179
289	70,953	0,0177
290	71,13	0,0174
291	71,304	0,0172

292	71,475	0,0169
293	71,644	0,0166

294	71,811	
-----	--------	--

Таблиця А.3. Градувальна таблиця РГС-40 розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення. Мм	Об'єм сегменту (м³)	Місткість (м³)	Коефіцієнт місткості, м³ /мм
0	2,12361E-06	2,12361E-06	2,12361E-07
10	0,000207402	0,000209525	2,07402E-05
20	0,000795401	0,001004926	7,95401E-05
30	0,001632969	0,002637895	0,000163297
40	0,002707879	0,005345775	0,000270788
50	0,004087298	0,009433072	0,00040873
60	0,01565738	0,025090453	0,001565738
70	0,038926837	0,06401729	0,003892684
80	0,046213097	0,110230388	0,00462131
90	0,052149367	0,162379754	0,005214937
100	0,058310154	0,220689908	0,005831015
110	0,063152166	0,283842073	0,006315217
120	0,06673792	0,350579993	0,006673792
130	0,070070889	0,420650882	0,007007089
140	0,075366966	0,496017848	0,007536697
150	0,078698977	0,574716825	0,007869898
160	0,081402219	0,656119044	0,008140222
170	0,083929674	0,740048718	0,008392967
180	0,086304463	0,826353181	0,008630446
190	0,088473271	0,914826452	0,008847327
200	0,089998534	1,004824986	0,008999853
210	0,091161796	1,095986782	0,00911618
220	0,092339933	1,188326715	0,009233993
230	0,093538036	1,281864751	0,009353804
240	0,097153198	1,379017949	0,00971532
250	0,100323023	1,479340972	0,010032302
260	0,102241396	1,581582368	0,01022414
270	0,104033066	1,685615433	0,010403307
280	0,105815706	1,791431139	0,010581571
290	0,107551979	1,898983119	0,010755198
300	0,109307929	2,008291047	0,010930793
310	0,111067045	2,119358092	0,011106705
320	0,112875524	2,232233617	0,011287552
330	0,114359991	2,346593608	0,011435999
340	0,115813077	2,462406684	0,011581308
350	0,117410518	2,579817202	0,011741052
360	0,118796938	2,69861414	0,011879694

370	0,12022943	2,81884357	0,012022943
380	0,12155792	2,94040149	0,012155792
390	0,122921727	3,063323217	0,012292173
400	0,124250596	3,187573813	0,01242506
410	0,125539424	3,313113238	0,012553942
420	0,126808431	3,439921668	0,012680843
430	0,128084332	3,568006	0,012808433
440	0,129402332	3,697408332	0,012940233
450	0,130650737	3,828059069	0,013065074
460	0,131925517	3,959984586	0,013192552
470	0,133124326	4,093108913	0,013312433
480	0,134253644	4,227362556	0,013425364
490	0,135403128	4,362765684	0,013540313
500	0,136435308	4,499200993	0,013643531
510	0,137541349	4,636742342	0,013754135
520	0,138572441	4,775314783	0,013857244
530	0,139584928	4,914899711	0,013958493
540	0,140627554	5,055527265	0,014062755
550	0,141595625	5,197122889	0,014159562
560	0,142535458	5,339658347	0,014253546
570	0,143482379	5,483140727	0,014348238
580	0,144378751	5,627519478	0,014437875
590	0,145275317	5,772794794	0,014527532
600	0,146187276	5,91898207	0,014618728
610	0,147015691	6,065997762	0,014701569
620	0,14797265	6,213970412	0,014797265
630	0,148758122	6,362728533	0,014875812
640	0,149609092	6,512337625	0,014960909
650	0,150384251	6,662721876	0,015038425
660	0,151186138	6,813908014	0,015118614
670	0,15202635	6,965934364	0,015202635
680	0,152738619	7,118672983	0,015273862
690	0,153543885	7,272216868	0,015354388
700	0,154342132	7,426559	0,015434213
710	0,155039721	7,58159872	0,015503972
720	0,155770887	7,737369607	0,015577089
730	0,156515984	7,893885591	0,015651598
740	0,157170326	8,051055917	0,015717033
750	0,157831751	8,208887668	0,015783175
760	0,158586703	8,367474371	0,01585867
770	0,159241784	8,526716155	0,015924178

780	0,159948582	8,686664737	0,015994858
790	0,160568366	8,847233103	0,016056837
800	0,161116169	9,008349272	0,016111617
810	0,161845481	9,170194754	0,016184548
820	0,162440859	9,332635613	0,016244086
830	0,162974318	9,49560993	0,016297432
840	0,163627718	9,659237649	0,016362772
850	0,164231056	9,823468704	0,016423106
860	0,164854078	9,988322782	0,016485408
870	0,165405822	10,1537286	0,016540582
880	0,165965511	10,31969412	0,016596551
890	0,166579637	10,48627375	0,016657964
900	0,167094621	10,65336837	0,016709462
910	0,167643831	10,8210122	0,016764383
920	0,168156679	10,98916888	0,016815668
930	0,168635083	11,15780397	0,016863508
940	0,169202078	11,32700604	0,016920208
950	0,169643222	11,49664927	0,016964322
960	0,170135083	11,66678435	0,017013508
970	0,17062961	11,83741396	0,017062961
980	0,171097268	12,00851123	0,017109727
990	0,171650638	12,18016187	0,017165064
1000	0,172057845	12,35221971	0,017205784
1010	0,172635853	12,52485556	0,017263585
1020	0,173037111	12,69789267	0,017303711
1030	0,17339928	12,87129195	0,017339928
1040	0,173879283	13,04517124	0,017387928
1050	0,174251034	13,21942227	0,017425103
1060	0,174798016	13,39422029	0,017479802
1070	0,175095351	13,56931564	0,017509535
1080	0,175479757	13,74479539	0,017547976
1090	0,175867887	13,92066328	0,017586789
1100	0,176101422	14,0967647	0,017610142
1110	0,176751543	14,27351625	0,017675154
1120	0,177022735	14,45053898	0,017702274
1130	0,177464742	14,62800372	0,017746474
1140	0,177736102	14,80573983	0,01777361
1150	0,1779836	14,98372343	0,01779836
1160	0,178525998	15,16224942	0,0178526
1170	0,1787231	15,34097252	0,01787231
1180	0,179110778	15,5200833	0,017911078
1190	0,17942123	15,69950453	0,017942123
1200	0,179539851	15,87904438	0,017953985
1210	0,179943051	16,05898743	0,017994305
1220	0,179829566	16,238817	0,017982957
1230	0,180447934	16,41926493	0,018044793

1240	0,180863511	16,60012845	0,018086351
1250	0,180772132	16,78090058	0,018077213
1260	0,181320293	16,96222087	0,018132029
1270	0,181266262	17,14348713	0,018126626
1280	0,181540556	17,32502769	0,018154056
1290	0,181817908	17,5068456	0,018181791
1300	0,182053467	17,68889906	0,018205347
1310	0,182138459	17,87103752	0,018213846
1320	0,182119153	18,05315668	0,018211915
1330	0,182521961	18,23567864	0,018252196
1340	0,18252696	18,4182056	0,018252696
1350	0,182838049	18,60104365	0,018283805
1360	0,183031918	18,78407556	0,018303192
1370	0,183011216	18,96708678	0,018301122
1380	0,183149212	19,15023599	0,018314921
1390	0,183228276	19,33346427	0,018322828
1400	0,183325418	19,51678969	0,018332542
1410	0,18352696	19,70031665	0,018352696
1420	0,18363825	19,8839549	0,018363825
1430	0,183854718	20,06780961	0,018385472
1440	0,183899951	20,25170957	0,018389995
1450	0,183813875	20,43552344	0,018381388
1460	0,183974264	20,6194977	0,018397426
1470	0,183988046	20,80348575	0,018398805
1480	0,184171179	20,98765693	0,018417118
1490	0,184203592	21,17186052	0,018420359
1500	0,184458298	21,35631882	0,01844583
1510	0,18452205	21,54084087	0,018452205
1520	0,184418899	21,72525977	0,01844189
1530	0,184417675	21,90967744	0,018441767
1540	0,184682448	22,09435989	0,018468245
1550	0,184846609	22,2792065	0,018484661
1560	0,184770397	22,4639769	0,01847704
1570	0,184909184	22,64888608	0,018490918
1580	0,184928646	22,83381473	0,018492865
1590	0,184933077	23,0187478	0,018493308
1600	0,185024276	23,20377208	0,018502428
1610	0,184876231	23,38864831	0,018487623
1620	0,184985597	23,57363391	0,01849856
1630	0,184830888	23,7584648	0,018483089
1640	0,184753644	23,94321844	0,018475364
1650	0,184580251	24,12779869	0,018458025
1660	0,18459832	24,31239701	0,018459832
1670	0,184566289	24,4969633	0,018456629
1680	0,184484583	24,68144788	0,018448458
1690	0,18443609	24,86588397	0,018443609

1700	0,184177688	25,05006166	0,018417769
1710	0,184063272	25,23412493	0,018406327
1720	0,183740711	25,41786564	0,018374071
1730	0,183611321	25,60147697	0,018361132
1740	0,183430368	25,78490733	0,018343037
1750	0,183205992	25,96811333	0,018320599
1760	0,183090263	26,15120359	0,018309026
1770	0,182754302	26,33395789	0,01827543
1780	0,182628859	26,51658675	0,018262886
1790	0,182326132	26,69891288	0,018232613
1800	0,182128105	26,88104099	0,018212811
1810	0,181832634	27,06287362	0,018183263
1820	0,18154574	27,24441936	0,018154574
1830	0,181242831	27,42566219	0,018124283
1840	0,180699177	27,60636137	0,018069918
1850	0,180111857	27,78647323	0,018011186
1860	0,179280919	27,96575414	0,017928092
1870	0,178824758	28,1445789	0,017882476
1880	0,178296937	28,32287584	0,017829694
1890	0,177696328	28,50057217	0,017769633
1900	0,177302305	28,67787447	0,017730231
1910	0,176052902	28,85392738	0,01760529
1920	0,175349035	29,02927641	0,017534904
1930	0,173614845	29,20289125	0,017361484
1940	0,17378095	29,37667221	0,017378095
1950	0,173395857	29,55006806	0,017339586
1960	0,173408992	29,72347705	0,017340899
1970	0,173416198	29,89689325	0,01734162
1980	0,172813537	30,06970679	0,017281354
1990	0,172584583	30,24229137	0,017258458
2000	0,172081624	30,414373	0,017208162
2010	0,171580083	30,58595308	0,017158008
2020	0,17102923	30,75698231	0,017102923
2030	0,17053776	30,92752007	0,017053776
2040	0,169263665	31,09678373	0,016926367
2050	0,169031966	31,2658157	0,016903197
2060	0,16880815	31,43462385	0,016880815
2070	0,168519205	31,60314305	0,01685192
2080	0,168079936	31,77122299	0,016807994
2090	0,167556892	31,93877988	0,016755689
2100	0,166834096	32,10561398	0,01668341
2110	0,166277439	32,27189142	0,016627744
2120	0,165640626	32,43753204	0,016564063
2130	0,164968117	32,60250016	0,016496812
2140	0,164303833	32,76680399	0,016430383
2150	0,163502467	32,93030646	0,016350247

2160	0,162898628	33,09320509	0,016289863
2170	0,162129446	33,25533454	0,016212945
2180	0,161438458	33,41677299	0,016143846
2190	0,160637143	33,57741014	0,016063714
2200	0,159967904	33,73737804	0,01599679
2210	0,159127759	33,8965058	0,015912776
2220	0,157730948	34,05423675	0,015773095
2230	0,155734211	34,20997096	0,015573421
2240	0,151060224	34,36103118	0,015106022
2250	0,150472281	34,51150346	0,015047228
2260	0,149802709	34,66130617	0,014980271
2270	0,148981548	34,81028772	0,014898155
2280	0,14827309	34,95856081	0,014827309
2290	0,147753377	35,10631419	0,014775338
2300	0,147511974	35,25382616	0,014751197
2310	0,146611569	35,40043773	0,014661157
2320	0,145667462	35,54610519	0,014566746
2330	0,144414807	35,69052	0,014441481
2340	0,144390488	35,83491049	0,014439049
2350	0,144117767	35,97902825	0,014411777
2360	0,14359617	36,12262442	0,014359617
2370	0,143163841	36,26578826	0,014316384
2380	0,142453147	36,40824141	0,014245315
2390	0,141810041	36,55005145	0,014181004
2400	0,140926215	36,69097767	0,014092622
2410	0,136330092	36,82730776	0,013633009
2420	0,134973617	36,96228138	0,013497362
2430	0,133564761	37,09584614	0,013356476
2440	0,128699223	37,22454536	0,012869922
2450	0,129135348	37,35368071	0,012913535
2460	0,124237855	37,47791856	0,012423785
2470	0,125545098	37,60346366	0,01255451
2480	0,121545864	37,72500953	0,012154586
2490	0,121102047	37,84611157	0,012110205
2500	0,117989048	37,96410062	0,011798905
2510	0,117305274	38,0814059	0,011730527
2520	0,116071132	38,19747703	0,011607113
2530	0,113793848	38,31127088	0,011379385
2540	0,113171608	38,42444248	0,011317161
2550	0,112500273	38,53694276	0,011250027
2560	0,111912641	38,6488554	0,011191264
2570	0,110451509	38,75930691	0,011045151
2580	0,109671724	38,86897863	0,010967172
2590	0,109124006	38,97810264	0,010912401
2600	0,107421639	39,08552428	0,010742164
2610	0,10688403	39,19240831	0,010688403

2620	0,105968724	39,29837703	0,010596872
2630	0,105394632	39,40377166	0,010539463
2640	0,102790228	39,50656189	0,010279023
2650	0,103850767	39,61041266	0,010385077
2660	0,101229933	39,71164259	0,010122993
2670	0,10143724	39,81307983	0,010143724
2680	0,098893927	39,91197376	0,009889393
2690	0,099669681	40,01164344	0,009966968
2700	0,097223027	40,10886647	0,009722303
2710	0,0963257	40,20519217	0,00963257
2720	0,094689771	40,29988194	0,009468977
2730	0,09202791	40,39190985	0,009202791
2740	0,091135304	40,48304515	0,00911353
2750	0,088531204	40,57157635	0,00885312
2760	0,088274997	40,65985135	0,0088275
2770	0,085818635	40,74566999	0,008581864
2780	0,08395051	40,8296205	0,008395051
2790	0,083007021	40,91262752	0,008300702
2800	0,080139353	40,99276687	0,008013935
2810	0,079959375	41,07272625	0,007995938
2820	0,076407861	41,14913411	0,007640786
2830	0,074439168	41,22357327	0,007443917
2840	0,073487117	41,29706039	0,007348712

2850	0,070634701	41,36769509	0,00706347
2860	0,070561317	41,43825641	0,007056132
2870	0,067419428	41,50567584	0,006741943
2880	0,066140084	41,57181592	0,006614008
2890	0,063985652	41,63580157	0,006398565
2900	0,061674314	41,69747589	0,006167431
2910	0,059632917	41,7571088	0,005963292
2920	0,056631884	41,81374069	0,005663188
2930	0,054811873	41,86855256	0,005481187
2940	0,052352395	41,92090496	0,005235239
2950	0,048918419	41,96982337	0,004891842
2960	0,046610836	42,01643421	0,004661084
2970	0,040206417	42,05664063	0,004020642
2980	0,029712093	42,08635272	0,002971209
2990	0,024298659	42,11065138	0,002429866
3000	0,021632155	42,13228353	0,002163215
3010	0,020331047	42,15261458	0,002033105
3020	0,016804433	42,16941901	0,001680443
3030	0,013002802	42,18242182	0,00130028
3040	0,004678878	42,18710069	0,000467888
3050	0,000947214	42,18804791	9,47214E-05
3057	0,000203245	42,18825115	2,03245E-05

Таблиця А.4. Градувальна таблиця РГС-40 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,006	0,0006
10	0,011	0,0005
20	0,017	0,0006
30	0,025	0,0008
40	0,036	0,0011
50	0,051	0,0015
60	0,071	0,002
70	0,102	0,0031
80	0,144	0,0042
90	0,195	0,0051
100	0,256	0,0061
110	0,323	0,0067
120	0,395	0,0072
130	0,472	0,0077
140	0,553	0,0081
150	0,638	0,0085

160	0,725	0,0087
170	0,816	0,0091
180	0,909	0,0093
190	1,004	0,0095
200	1,103	0,0099
210	1,203	0,01
220	1,306	0,0103
230	1,411	0,0105
240	1,517	0,0106
250	1,625	0,0108
260	1,735	0,011
270	1,846	0,0111
280	1,959	0,0113
290	2,073	0,0114
300	2,189	0,0116
310	2,307	0,0118
320	2,426	0,0119
330	2,546	0,012
340	2,667	0,0121

350	2,79	0,0123
360	2,914	0,0124
370	3,04	0,0126
380	3,166	0,0126
390	3,294	0,0128
400	3,423	0,0129
410	3,554	0,0131
420	3,686	0,0132
430	3,819	0,0133
440	3,952	0,0133
450	4,087	0,0135
460	4,223	0,0136
470	4,36	0,0137
480	4,498	0,0138
490	4,637	0,0139
500	4,777	0,014
510	4,917	0,014
520	5,059	0,0142
530	5,202	0,0143
540	5,346	0,0144
550	5,49	0,0144
560	5,635	0,0145
570	5,782	0,0147
580	5,929	0,0147
590	6,078	0,0149
600	6,226	0,0148
610	6,376	0,015
620	6,526	0,015
630	6,677	0,0151
640	6,829	0,0152
650	6,981	0,0152
660	7,134	0,0153
670	7,288	0,0154
680	7,443	0,0155
690	7,598	0,0155
700	7,755	0,0157
710	7,911	0,0156
720	8,069	0,0158
730	8,227	0,0158
740	8,386	0,0159
750	8,546	0,016
760	8,706	0,016
770	8,867	0,0161
780	9,028	0,0161
790	9,19	0,0162
800	9,352	0,0162

810	9,515	0,0163
820	9,679	0,0164
830	9,843	0,0164
840	10,008	0,0165
850	10,173	0,0165
860	10,339	0,0166
870	10,505	0,0166
880	10,672	0,0167
890	10,84	0,0168
900	11,009	0,0169
910	11,177	0,0168
920	11,346	0,0169
930	11,515	0,0169
940	11,685	0,017
950	11,856	0,0171
960	12,027	0,0171
970	12,198	0,0171
980	12,369	0,0171
990	12,542	0,0173
1000	12,714	0,0172
1010	12,887	0,0173
1020	13,06	0,0173
1030	13,234	0,0174
1040	13,409	0,0175
1050	13,584	0,0175
1060	13,759	0,0175
1070	13,934	0,0175
1080	14,109	0,0175
1090	14,285	0,0176
1100	14,462	0,0177
1110	14,638	0,0176
1120	14,815	0,0177
1130	14,992	0,0177
1140	15,17	0,0178
1150	15,347	0,0177
1160	15,525	0,0178
1170	15,704	0,0179
1180	15,883	0,0179
1190	16,062	0,0179
1200	16,241	0,0179
1210	16,42	0,0179
1220	16,6	0,018
1230	16,779	0,0179
1240	16,959	0,018
1250	17,139	0,018
1260	17,319	0,018

1270	17,499	0,018
1280	17,68	0,0181
1290	17,861	0,0181
1300	18,041	0,018
1310	18,223	0,0182
1320	18,404	0,0181
1330	18,585	0,0181
1340	18,767	0,0182
1350	18,948	0,0181
1360	19,129	0,0181
1370	19,311	0,0182
1380	19,492	0,0181
1390	19,674	0,0182
1400	19,856	0,0182
1410	20,038	0,0182
1420	20,219	0,0181
1430	20,401	0,0182
1440	20,583	0,0182
1450	20,766	0,0183
1460	20,948	0,0182
1470	21,13	0,0182
1480	21,312	0,0182
1490	21,495	0,0183
1500	21,677	0,0182
1510	21,859	0,0182
1520	22,041	0,0182
1530	22,223	0,0182
1540	22,405	0,0182
1550	22,587	0,0182
1560	22,769	0,0182
1570	22,951	0,0182
1580	23,134	0,0183
1590	23,316	0,0182
1600	23,497	0,0181
1610	23,679	0,0182
1620	23,861	0,0182
1630	24,042	0,0181
1640	24,224	0,0182
1650	24,405	0,0181
1660	24,586	0,0181
1670	24,767	0,0181
1680	24,948	0,0181
1690	25,128	0,018
1700	25,309	0,0181
1710	25,49	0,0181
1720	25,67	0,018

1730	25,85	0,018
1740	26,03	0,018
1750	26,209	0,0179
1760	26,388	0,0179
1770	26,567	0,0179
1780	26,745	0,0178
1790	26,924	0,0179
1800	27,101	0,0177
1810	27,279	0,0178
1820	27,455	0,0176
1830	27,632	0,0177
1840	27,808	0,0176
1850	27,984	0,0176
1860	28,159	0,0175
1870	28,334	0,0175
1880	28,508	0,0174
1890	28,681	0,0173
1900	28,854	0,0173
1910	29,026	0,0172
1920	29,197	0,0171
1930	29,368	0,0171
1940	29,538	0,017
1950	29,707	0,0169
1960	29,876	0,0169
1970	30,043	0,0167
1980	30,21	0,0167
1990	30,378	0,0168
2000	30,543	0,0165
2010	30,707	0,0164
2020	30,871	0,0164
2030	31,034	0,0163
2040	31,195	0,0161
2050	31,356	0,0161
2060	31,516	0,016
2070	31,675	0,0159
2080	31,833	0,0158
2090	31,99	0,0157
2100	32,145	0,0155
2110	32,3	0,0155
2120	32,454	0,0154
2130	32,606	0,0152
2140	32,759	0,0153
2150	32,909	0,015
2160	33,058	0,0149
2170	33,206	0,0148
2180	33,353	0,0147

2190	33,498	0,0145
2200	33,643	0,0145
2210	33,786	0,0143
2220	33,928	0,0142
2230	34,069	0,0141
2240	34,208	0,0139
2250	34,346	0,0138
2260	34,482	0,0136
2270	34,616	0,0134
2280	34,749	0,0133
2290	34,88	0,0131
2300	35,009	0,0129
2310	35,137	0,0128
2320	35,263	0,0126
2330	35,388	0,0125
2340	35,51	0,0122
2350	35,631	0,0121
2360	35,751	0,012
2370	35,869	0,0118
2380	35,985	0,0116
2390	36,1	0,0115
2400	36,213	0,0113
2410	36,325	0,0112
2420	36,435	0,011

2430	36,544	0,0109
2440	36,651	0,0107
2450	36,757	0,0106
2460	36,86	0,0103
2470	36,963	0,0103
2480	37,064	0,0101
2490	37,163	0,0099
2500	37,26	0,0097
2510	37,356	0,0096
2520	37,451	0,0095
2530	37,543	0,0092
2540	37,635	0,0092
2550	37,725	0,009
2560	37,812	0,0087
2570	37,898	0,0086
2580	37,982	0,0084
2590	38,065	0,0083
2600	38,145	0,008
2610	38,224	0,0079
2620	38,302	0,0078
2630	38,377	0,0075
2640	38,451	0,0074
2650	38,524	0,0073

Таблиця А.5. Градувальна таблиця РГС-10 розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення. Мм	Об'єм сегменту (м³)	Місткість (м³)	Коефіцієнт місткості, м³ / мм
0	5,977E-05	5,97652E-05	5,98E-06
10	0,005284	0,005343773	0,000528
20	0,016961	0,0223048	0,001696
30	0,0233709	0,045675714	0,002337
40	0,0283255	0,074001237	0,002833
50	0,0324812	0,106482397	0,003248
60	0,0360858	0,142568207	0,003609
70	0,0393102	0,181878449	0,003931
80	0,04231	0,224188452	0,004231
90	0,0450153	0,269203786	0,004502
100	0,0475743	0,316778095	0,004757
110	0,0499691	0,366747241	0,004997
120	0,0521742	0,418921403	0,005217
130	0,0542668	0,473188243	0,005427
140	0,0563247	0,529512983	0,005632
150	0,0582917	0,587804665	0,005829

160	0,0599881	0,647792788	0,005999
170	0,0618104	0,709603193	0,006181
180	0,0634988	0,773102005	0,00635
190	0,0650967	0,838198701	0,00651
200	0,0665916	0,904790334	0,006659
210	0,0679629	0,972753271	0,006796
220	0,0694379	1,042191129	0,006944
230	0,0708228	1,11301391	0,007082
240	0,0721131	1,185127012	0,007211
250	0,0732774	1,258404372	0,007328
260	0,0744896	1,332893955	0,007449
270	0,075625	1,408518966	0,007563
280	0,0767174	1,485236368	0,007672
290	0,0777527	1,562989046	0,007775
300	0,0786748	1,641663854	0,007867
310	0,0795792	1,721243101	0,007958
320	0,0805633	1,801806412	0,008056
330	0,0812141	1,883020498	0,008121
340	0,0818823	1,964902836	0,008188

350	0,082754	2,047656843	0,008275
360	0,0836694	2,131326282	0,008367
370	0,0844271	2,215753428	0,008443
380	0,0853244	2,301077782	0,008532
390	0,0860329	2,387110669	0,008603
400	0,0866785	2,473789129	0,008668
410	0,0874482	2,56123732	0,008745
420	0,0879634	2,649200706	0,008796
430	0,0884796	2,737680303	0,008848
440	0,0889343	2,826614617	0,008893
450	0,089398	2,916012614	0,00894
460	0,0899674	3,005980061	0,008997
470	0,0903626	3,096342652	0,009036
480	0,0905336	3,186876251	0,009053
490	0,091049	3,277925255	0,009105
500	0,0911885	3,369113719	0,009119
510	0,0916306	3,460744361	0,009163
520	0,0919159	3,552660305	0,009192
530	0,0922856	3,644945934	0,009229
540	0,0925816	3,737527539	0,009258
550	0,0927482	3,8302757	0,009275
560	0,0926781	3,922953779	0,009268
570	0,0919388	4,014892588	0,009194
580	0,0924279	4,107320522	0,009243
590	0,092635	4,199955479	0,009263
600	0,0931212	4,293076676	0,009312
610	0,0930173	4,386094021	0,009302
620	0,0928475	4,478941503	0,009285
630	0,0930572	4,571998686	0,009306
640	0,0923859	4,664384586	0,009239
650	0,0923015	4,75668606	0,00923
660	0,0917862	4,848472276	0,009179
670	0,091919	4,940391316	0,009192
680	0,0899426	5,030333955	0,008994
690	0,0916223	5,121956276	0,009162
700	0,091395	5,213351233	0,009139
710	0,0908573	5,304208487	0,009086
720	0,090453	5,39466146	0,009045
730	0,0877756	5,482437013	0,008778
740	0,089713	5,572149995	0,008971
750	0,0897657	5,661915695	0,008977
760	0,0881657	5,750081374	0,008817
770	0,0879699	5,838051264	0,008797
780	0,0877734	5,92582462	0,008777
790	0,0876746	6,013499262	0,008767
800	0,0877785	6,10127775	0,008778

810	0,0871574	6,188435131	0,008716
820	0,0862521	6,274687192	0,008625
830	0,0851438	6,359831006	0,008514
840	0,0839003	6,443731288	0,00839
850	0,0834228	6,527154047	0,008342
860	0,0801116	6,607265694	0,008011
870	0,074389	6,68165465	0,007439
880	0,0719882	6,753642812	0,007199
890	0,0713309	6,824973665	0,007133
900	0,0777998	6,902773482	0,00778
910	0,0787646	6,981538047	0,007876
920	0,0788137	7,06035176	0,007881
930	0,0778607	7,138212506	0,007786
940	0,0775427	7,215755176	0,007754
950	0,0768292	7,292584357	0,007683
960	0,0759122	7,368496593	0,007591
970	0,0749797	7,44347629	0,007498
980	0,0736391	7,517115413	0,007364
990	0,0726409	7,589756351	0,007264
1000	0,0718796	7,661635916	0,007188
1010	0,0706241	7,732259984	0,007062
1020	0,0699786	7,802238546	0,006998
1030	0,0682064	7,870444496	0,006821
1040	0,0661738	7,936618804	0,006617
1050	0,0655296	8,002148399	0,006553
1060	0,0642183	8,06636665	0,006422
1070	0,0629571	8,129323794	0,006296
1080	0,0607048	8,190028548	0,00607
1090	0,0593386	8,249367151	0,005934
1100	0,0569987	8,306365891	0,0057
1110	0,0560354	8,362401305	0,005604
1120	0,0542831	8,416684416	0,005428
1130	0,0522135	8,468897895	0,005221
1140	0,050227	8,51912485	0,005023
1150	0,0478603	8,566985141	0,004786
1160	0,0452536	8,612238767	0,004525
1170	0,0427706	8,655009368	0,004277
1180	0,0394698	8,694479125	0,003947
1190	0,0369444	8,731423548	0,003694
1200	0,0342152	8,765638762	0,003422
1210	0,0319931	8,79763188	0,003199
1220	0,0297182	8,827350063	0,002972
1230	0,0269436	8,854293691	0,002694
1240	0,0230125	8,877306195	0,002301
1250	0,0139422	8,891248382	0,001394
1260	0,0016137	8,892862075	0,000161

1270	0,0014299	8,894291938	0,000143
1280	0,0012054	8,895497371	0,000121
1290	0,0009929	8,896490233	9,93E-05
1300	0,0007511	8,897241289	7,51E-05

1310	0,000484	8,897725329	4,84E-05
1320	0,0002526	8,897977888	2,53E-05
1330	6,242E-05	8,89804031	6,24E-06

Таблиця А.6. Градувальна таблиця РГС-10 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м3 /мм
0	0	0,0002
1	0,002	0,0012
2	0,014	0,002
3	0,034	0,0026
4	0,06	0,0031
5	0,09	0,0035
6	0,125	0,0038
7	0,163	0,0041
8	0,204	0,0044
9	0,248	0,0047
10	0,295	0,0049
11	0,344	0,0052
12	0,396	0,0054
13	0,45	0,0056
14	0,506	0,0058
15	0,564	0,006
16	0,624	0,0062
17	0,686	0,0063
18	0,749	0,0065
19	0,814	0,0067
20	0,881	0,0068
21	0,949	0,007
22	1,018	0,0071
23	1,089	0,0072
24	1,161	0,0074
25	1,235	0,0075
26	1,31	0,0076
27	1,386	0,0077
28	1,463	0,0078
29	1,541	0,0079
30	1,62	0,008
31	1,7	0,0081
32	1,781	0,0082
33	1,863	0,0083

34	1,946	0,0084
35	2,03	0,0085
36	2,114	0,0085
37	2,2	0,0086
38	2,286	0,0087
39	2,373	0,0087
40	2,46	0,0088
41	2,548	0,0089
42	2,637	0,0089
43	2,726	0,009
44	2,816	0,009
45	2,906	0,0091
46	2,997	0,0091
47	3,088	0,0092
48	3,179	0,0092
49	3,271	0,0092
50	3,364	0,0093
51	3,456	0,0093
52	3,549	0,0093
53	3,643	0,0094
54	3,736	0,0094
55	3,83	0,0094
56	3,924	0,0094
57	4,018	0,0094
58	4,112	0,0094
59	4,207	0,0095
60	4,301	0,0095
61	4,396	0,0095
62	4,49	0,0095
63	4,585	0,0095
64	4,68	0,0095
65	4,774	0,0095
66	4,869	0,0094
67	4,963	0,0094
68	5,057	0,0094
69	5,152	0,0094
70	5,246	0,0094

71	5,339	0,0093
72	5,433	0,0093
73	5,526	0,0093
74	5,619	0,0093
75	5,711	0,0092
76	5,804	0,0092
77	5,896	0,0092
78	5,987	0,0091
79	6,078	0,0091
80	6,169	0,009
81	6,259	0,009
82	6,349	0,0089
83	6,438	0,0089
84	6,526	0,0088
85	6,614	0,0087
86	6,701	0,0087
87	6,788	0,0086
88	6,874	0,0085
89	6,959	0,0084
90	7,043	0,0084
91	7,127	0,0083
92	7,21	0,0082
93	7,291	0,0081
94	7,372	0,008
95	7,452	0,0079
96	7,531	0,0078

97	7,609	0,0077
98	7,685	0,0076
99	7,761	0,0074
100	7,835	0,0073
101	7,908	0,0072
102	7,98	0,007
103	8,05	0,0069
104	8,119	0,0068
105	8,187	0,0066
106	8,253	0,0064
107	8,317	0,0063
108	8,38	0,0061
109	8,441	0,0059
110	8,5	0,0057
111	8,558	0,0055
112	8,613	0,0053
113	8,666	0,0051
114	8,717	0,0049
115	8,765	0,0046
116	8,811	0,0043
117	8,854	0,004
118	8,895	0,0037
119	8,932	0,0034
120	8,966	0,0029
121	8,995	

Таблиця А.7. Градувальна таблиця РГС-25 розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення. Мм	Об'єм сегменту (м ³)	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	2,4149E-06	2,41488E-06	2,41488E-07
10	0,00260628	0,002608696	0,000260628
20	0,01507598	0,017684677	0,001507598
30	0,02145052	0,039135196	0,002145052
40	0,02580671	0,064941902	0,002580671
50	0,02948086	0,094422759	0,002948086
60	0,03268821	0,127110965	0,003268821
70	0,03555326	0,162664223	0,003555326

80	0,03813894	0,200803167	0,003813894
90	0,04049894	0,241302108	0,004049894
100	0,04273099	0,2840331	0,004273099
110	0,04486691	0,328900012	0,004486691
120	0,04693027	0,375830281	0,004693027
130	0,04885358	0,42468386	0,004885358
140	0,05068292	0,47536678	0,005068292
150	0,05247269	0,527839473	0,005247269
160	0,0541792	0,582018675	0,00541792
170	0,05587726	0,637895931	0,005587726

180	0,0574937 9	0,6953897 26	0,005749379
190	0,0590393 1	0,7544290 4	0,005903931
200	0,0604816 7	0,8149107 1	0,006048167
210	0,0618740 1	0,8767847 18	0,006187401
220	0,0633020 7	0,9400867 9	0,006330207
230	0,0647001	1,0047868 87	0,00647001
240	0,0660764 7	1,0708633 52	0,006607647
250	0,0674159 9	1,1382793 44	0,006741599
260	0,0687336 6	1,2070130 05	0,006873366
270	0,0699850 9	1,2769980 95	0,006998509
280	0,0712321 2	1,3482302 13	0,007123212
290	0,0724382 7	1,4206684 82	0,007243827
300	0,0736134 3	1,4942819 14	0,007361343
310	0,0747699	1,5690518 13	0,00747699
320	0,0759081 9	1,6449600 01	0,007590819
330	0,0770092 3	1,7219692 3	0,007700923
340	0,0780901 1	1,8000593 36	0,007809011
350	0,0791507 4	1,8792100 79	0,007915074
360	0,0801890 9	1,9593991 69	0,008018909
370	0,0812061 4	2,0406053 07	0,008120614
380	0,0822030 7	2,1228083 72	0,008220307
390	0,0831707	2,2059790 69	0,00831707
400	0,0841349 2	2,2901139 86	0,008413492
410	0,0850583 2	2,3751723 1	0,008505832
420	0,0860009 4	2,4611732 47	0,008600094
430	0,0869065 8	2,5480798 31	0,008690658
440	0,0878219	2,6359017 3	0,00878219
450	0,0886983 4	2,7246000 74	0,008869834
460	0,0895677 9	2,8141678 64	0,008956779
470	0,0904109 7	2,9045788 35	0,009041097

480	0,0912320 3	2,9958108 7	0,009123203
490	0,0920285	3,0878393 7	0,00920285
500	0,0927941 2	3,1806334 9	0,009279412
510	0,0935496 4	3,2741831 27	0,009354964
520	0,0942996 1	3,3684827 33	0,009429961
530	0,0950168 6	3,4634995 97	0,009501686
540	0,0957468 4	3,5592464 37	0,009574684
550	0,0964725 1	3,6557189 51	0,009647251
560	0,0971823 6	3,7529013 06	0,009718236
570	0,0978566 1	3,8507579 12	0,009785661
580	0,0985422 7	3,9493001 87	0,009854227
590	0,0992329 1	4,0485330 93	0,009923291
600	0,0998827 9	4,1484158 82	0,009988279
610	0,1004214 5	4,2488373 35	0,010042145
620	0,1010369 1	4,3498742 4	0,010103691
630	0,1016074	4,4514816 39	0,01016074
640	0,1022066	4,5536882 43	0,01022066
650	0,1027800 4	4,6564682 83	0,010278004
660	0,1033864 5	4,7598547 32	0,010338645
670	0,1039607 9	4,8638155 19	0,010396079
680	0,1045018 7	4,9683173 89	0,010450187
690	0,1050536 1	5,073371	0,010505361
700	0,1055876 6	5,1789586 63	0,010558766
710	0,1060651	5,2850237 59	0,01060651
720	0,1066493 6	5,3916731 18	0,010664936
730	0,1070550 8	5,4987281 96	0,010705508
740	0,1076311 8	5,6063593 75	0,010763118
750	0,1080737 6	5,7144331 32	0,010807376
760	0,1085837 5	5,8230168 77	0,010858375
770	0,1090368 8	5,9320537 57	0,010903688

780	0,1095121 9	6,0415659 49	0,010951219
790	0,1099352 6	6,1515012 12	0,010993526
800	0,1104222 6	6,2619234 74	0,011042226
810	0,1108205 8	6,3727440 55	0,011082058
820	0,1112749 7	6,4840190 21	0,011127497
830	0,1117341 3	6,5957531 55	0,011173413
840	0,1121384 8	6,7078916 3	0,011213848
850	0,1125503 5	6,8204419 81	0,011255035
860	0,1129084 8	6,9333504 63	0,011290848
870	0,1133886	7,0467390 59	0,01133886
880	0,1137187 7	7,1604578 32	0,011371877
890	0,1140296 9	7,2744875 26	0,011402969
900	0,1142559 3	7,3887434 57	0,011425593
910	0,1146825 3	7,5034259 89	0,011468253
920	0,1150651 8	7,6184911 73	0,011506518
930	0,1154009 4	7,7338921 13	0,011540094
940	0,1156703 1	7,8495624 22	0,011567031
950	0,1160871 3	7,9656495 57	0,011608713
960	0,1164382 1	8,0820877 68	0,011643821
970	0,1165999 3	8,1986876 98	0,011659993
980	0,1169684 2	8,3156561 21	0,011696842
990	0,1173196 6	8,4329757 81	0,011731966
1000	0,1175864	8,5505621 76	0,01175864
1010	0,1179024 9	8,6684646 68	0,011790249
1020	0,1181452 4	8,7866099 03	0,011814524
1030	0,1183910 7	8,9050009 76	0,011839107
1040	0,1186448 9	9,0236458 69	0,011864489
1050	0,1189608	9,1426066 68	0,01189608
1060	0,1192428 1	9,2618494 76	0,011924281
1070	0,1194238 6	9,3812733 35	0,011942386

1080	0,1196615 1	9,5009348 4	0,011966151
1090	0,1199490 3	9,6208838 68	0,011994903
1100	0,1201190 4	9,7410029 11	0,012011904
1110	0,1202836 3	9,8612865 39	0,012028363
1120	0,1205477 9	9,9818343 32	0,012054779
1130	0,1207155	10,102549 83	0,01207155
1140	0,1209209 1	10,223470 74	0,012092091
1150	0,1211114 1	10,344582 15	0,012111141
1160	0,1213187 3	10,465900 88	0,012131873
1170	0,1214880 7	10,587388 95	0,012148807
1180	0,1216622	10,709051 14	0,01216622
1190	0,1218197 8	10,830870 92	0,012181978
1200	0,1219719 8	10,952842 9	0,012197198
1210	0,1221486 2	11,074991 52	0,012214862
1220	0,1221985 6	11,197190 08	0,012219856
1230	0,1225482 7	11,319738 36	0,012254827
1240	0,1226264 6	11,442364 81	0,012262646
1250	0,1227535	11,565118 32	0,01227535
1260	0,1228448 7	11,687963 19	0,012284487
1270	0,1228974 8	11,810860 67	0,012289748
1280	0,1230092 1	11,933869 88	0,012300921
1290	0,1231712 7	12,057041 15	0,012317127
1300	0,1232634 1	12,180304 57	0,012326341
1310	0,1233246 2	12,303629 19	0,012332462
1320	0,1233437 8	12,426972 98	0,012334378
1330	0,1234274 6	12,550400 43	0,012342746
1340	0,1235289 4	12,673929 38	0,012352894
1350	0,1236731 6	12,797602 53	0,012367316
1360	0,1236281 7	12,921230 71	0,012362817
1370	0,1237618 6	13,044992 57	0,012376186

1380	0,1236795 5	13,168672 12	0,012367955
1390	0,1237065	13,292378 62	0,01237065
1400	0,1237106 7	13,416089 28	0,012371067
1410	0,1236544 6	13,539743 75	0,012365446
1420	0,1235358	13,663279 55	0,01235358
1430	0,1235198 6	13,786799 4	0,012351986
1440	0,1234707	13,910270 1	0,01234707
1450	0,1232851 5	14,033555 25	0,012328515
1460	0,1231471 6	14,156702 41	0,012314716
1470	0,1231658	14,279868 21	0,01231658
1480	0,1229274 8	14,402795 69	0,012292748
1490	0,1227983 9	14,525594 08	0,012279839
1500	0,1227357 8	14,648329 86	0,012273578
1510	0,1225061 3	14,770836	0,012250613
1520	0,1223993 1	14,893235 31	0,012239931
1530	0,1221304 9	15,015365 8	0,012213049
1540	0,1220541 1	15,137419 9	0,012205411
1550	0,1220020 2	15,259421 93	0,012200202
1560	0,1219331 1	15,381355 04	0,012193311
1570	0,1217636 7	15,503118 71	0,012176367
1580	0,1212804 6	15,624399 16	0,012128046
1590	0,121202	15,745601 17	0,0121202
1600	0,1212483 2	15,866849 49	0,012124832
1610	0,1209533	15,987802 79	0,01209533
1620	0,1207967 6	16,108599 55	0,012079676
1630	0,1204310 4	16,229030 59	0,012043104
1640	0,1204614 8	16,349492 07	0,012046148
1650	0,1202968 9	16,469788 96	0,012029689
1660	0,1199129 1	16,589701 86	0,011991291
1670	0,1195321 8	16,709234 04	0,011953218

1680	0,1194866 3	16,828720 67	0,011948663
1690	0,1191022 8	16,947822 95	0,011910228
1700	0,1190047 2	17,066827 67	0,011900472
1710	0,1187010 7	17,185528 74	0,011870107
1720	0,1182272 2	17,303755 96	0,011822722
1730	0,1179742 2	17,421730 19	0,011797422
1740	0,1179436 4	17,539673 82	0,011794364
1750	0,1176973	17,657371 12	0,01176973
1760	0,1173423 6	17,774713 48	0,011734236
1770	0,1167997 8	17,891513 27	0,011679978
1780	0,1166781 1	18,008191 38	0,011667811
1790	0,1164591 2	18,124650 5	0,011645912
1800	0,1160326 6	18,240683 16	0,011603266
1810	0,1158830 6	18,356566 22	0,011588306
1820	0,1155053 5	18,472071 57	0,011550535
1830	0,1150433 6	18,587114 93	0,011504336
1840	0,1149030 3	18,702017 95	0,011490303
1850	0,1145681 3	18,816586 08	0,011456813
1860	0,1139887 3	18,930574 82	0,011398873
1870	0,1134943 4	19,044069 15	0,011349434
1880	0,1133459 5	19,157415 1	0,011334595
1890	0,1127892 6	19,270204 36	0,011278926
1900	0,11278	19,382984 36	0,011278
1910	0,1123949 8	19,495379 34	0,011239498
1920	0,1111862 8	19,606565 62	0,011118628
1930	0,1116365 5	19,718202 17	0,011163655
1940	0,1102781	19,828480 27	0,01102781
1950	0,1094547 8	19,937935 05	0,010945478
1960	0,1106593 6	20,048594 41	0,011065936
1970	0,1098666 9	20,158461 1	0,010986669

1980	0,1088338 9	20,267294 99	0,010883389
1990	0,1081213 8	20,375416 36	0,010812138
2000	0,1071292	20,482545 56	0,01071292
2010	0,1069601 7	20,589505 74	0,010696017
2020	0,1055584 8	20,695064 22	0,010555848
2030	0,1051210 4	20,800185 25	0,010512104
2040	0,1047065 8	20,904891 83	0,010470658
2050	0,1041816 4	21,009073 47	0,010418164
2060	0,1045797 4	21,113653 21	0,010457974
2070	0,1041292	21,217782 42	0,01041292
2080	0,1043819 8	21,322164 4	0,010438198
2090	0,1041491 7	21,426313 57	0,010414917
2100	0,1034890 3	21,529802 6	0,010348903
2110	0,1029258	21,632728 39	0,01029258
2120	0,1023067 5	21,735035 14	0,010230675
2130	0,1016373 2	21,836672 46	0,010163732
2140	0,1009559 9	21,937628 45	0,010095599
2150	0,1002651 5	22,037893 6	0,010026515
2160	0,0996220 8	22,137515 67	0,009962208
2170	0,0989093 2	22,236425	0,009890932
2180	0,0982242 9	22,334649 29	0,009822429
2190	0,0975042 5	22,432153 54	0,009750425
2200	0,0968110 9	22,528964 62	0,009681109
2210	0,0960865 9	22,625051 21	0,009608659
2220	0,0953630 6	22,720414 27	0,009536306
2230	0,0946429 1	22,815057 17	0,009464291
2240	0,0938951 3	22,908952 3	0,009389513
2250	0,0931609	23,002113 2	0,00931609
2260	0,0924133 9	23,094526 59	0,009241339
2270	0,0916284	23,186154 99	0,00916284

2280	0,0908847 9	23,277039 78	0,009088479
2290	0,0900719 3	23,367111 71	0,009007193
2300	0,0892829	23,456394 61	0,00892829
2310	0,0884338 9	23,544828 51	0,008843389
2320	0,0876081 8	23,632436 69	0,008760818
2330	0,0867178 5	23,719154 54	0,008671785
2340	0,0858664 9	23,805021 02	0,008586649
2350	0,0849172 4	23,889938 26	0,008491724
2360	0,0838910 2	23,973829 28	0,008389102
2370	0,0820429	24,055872 18	0,00820429
2380	0,0816721 7	24,137544 35	0,008167217
2390	0,0809793 5	24,218523 7	0,008097935
2400	0,0804108 7	24,298934 57	0,008041087
2410	0,0795556 7	24,378490 24	0,007955567
2420	0,0785992 8	24,457089 52	0,007859928
2430	0,0775717 2	24,534661 24	0,007757172
2440	0,0765958 7	24,611257 12	0,007659587
2450	0,0755333 3	24,686790 44	0,007553333
2460	0,0744525 8	24,761243 02	0,007445258
2470	0,0733517 1	24,834594 73	0,007335171
2480	0,0722064 4	24,906801 17	0,007220644
2490	0,0710479 3	24,977849 1	0,007104793
2500	0,0698801 5	25,047729 26	0,006988015
2510	0,0686939 1	25,116423 17	0,006869391
2520	0,0674689 9	25,183892 15	0,006746899
2530	0,0661848 4	25,250076 99	0,006618484
2540	0,0648559 1	25,314932 9	0,006485591
2550	0,0635020 2	25,378434 92	0,006350202
2560	0,0620512	25,440486 12	0,00620512
2570	0,0605847 8	25,501070 9	0,006058478

2580	0,0590318 6	25,560102 76	0,005903186
2590	0,0575016 2	25,617604 38	0,005750162
2600	0,0558674 7	25,673471 85	0,005586747
2610	0,0541704	25,727642 25	0,00541704
2620	0,0523706 5	25,780012 9	0,005237065
2630	0,0505224 4	25,830535 34	0,005052244
2640	0,0486122 4	25,879147 57	0,004861224
2650	0,0466153 8	25,925762 95	0,004661538
2660	0,0445304 2	25,970293 37	0,004453042
2670	0,0423576	26,012650 98	0,00423576
2680	0,0401307 4	26,052781 72	0,004013074
2690	0,0377122 6	26,090493 98	0,003771226
2700	0,0350058 3	26,125499 8	0,003500583
2710	0,0324392 9	26,157939 09	0,003243929
2720	0,0303314 1	26,188270 51	0,003033141
2730	0,0282163	26,216486 81	0,00282163
2740	0,0256180 1	26,242104 82	0,002561801
2750	0,0222032 3	26,264308 04	0,002220323
2760	0,0154637 5	26,279771 79	0,001546375
2770	0,0052378	26,285009 59	0,00052378
2780	0,0049479 6	26,289957 54	0,000494796

2790	0,0049389 1	26,294896 46	0,000493891
2800	0,0049334 9	26,299829 95	0,000493349
2810	0,0049322	26,304762 15	0,00049322
2820	0,0049340 9	26,309696 24	0,000493409
2830	0,0049363 3	26,314632 57	0,000493633
2840	0,0049383 5	26,319570 92	0,000493835
2850	0,0049401	26,324511 02	0,00049401
2860	0,0049413 1	26,329452 33	0,000494131
2870	0,0049421 7	26,334394 5	0,000494217
2880	0,0049422 7	26,339336 77	0,000494227
2890	0,0049411	26,344277 87	0,00049411
2900	0,0049395 8	26,349217 45	0,000493958
2910	0,0049377	26,354155 16	0,00049377
2920	0,0049361 5	26,359091 31	0,000493615
2930	0,0049356 9	26,364027	0,000493569
2940	0,0049421 6	26,368969 16	0,000494216
2950	0,0049961 3	26,373965 29	0,000499613
2960	0,0049387 3	26,378904 02	0,000493873
2970	0,004626	26,383530 02	0,0004626
2980	0,0036576	26,387187 62	0,00036576
2987	0,0023993 5	26,389586 97	0,000239935

Таблиця А.8. Градувальна таблиця РГС-25 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м³)	Коефіцієнт місткості, м³ /мм
0	0,00E+00	0
10	3,89E-04	3,887E-05
20	0,0155	0,0015076
30	0,0369	0,00214505
40	0,0627	0,00258067
50	0,0922	0,00294809

60	0,1249	0,00326882
70	0,1604	0,00355533
80	0,1986	0,00381389
90	0,2391	0,00404989
100	0,2818	0,0042731
110	0,3267	0,00448669
120	0,3736	0,00469303
130	0,4225	0,00488536
140	0,4731	0,00506829

150	0,5256	0,00524727
160	0,5798	0,00541792
170	0,6357	0,00558773
180	0,6932	0,00574938
190	0,7522	0,00590393
200	0,8127	0,00604817
210	0,8746	0,0061874
220	0,9379	0,00633021
230	0,9998	0,00619201
240	1,0659	0,00660765
250	1,1333	0,0067416
260	1,2020	0,00687337
270	1,2720	0,00699851
280	1,3432	0,00712321
290	1,4157	0,00724383
300	1,4893	0,00736134
310	1,5641	0,00747699
320	1,6400	0,00759082
330	1,7170	0,00770092
340	1,7951	0,00780901
350	1,8742	0,00791507
360	1,9544	0,00801891
370	2,0356	0,00812061
380	2,1178	0,00822031
390	2,2010	0,00831707
400	2,2851	0,00841349
410	2,3702	0,00850583
420	2,4562	0,00860009
430	2,5431	0,00869066
440	2,6309	0,00878219
450	2,7196	0,00886983
460	2,8092	0,00895678
470	2,8996	0,0090411
480	2,9908	0,0091232
490	3,0828	0,00920285
500	3,1756	0,00927941
510	3,2692	0,00935496
520	3,3635	0,00942996
530	3,4585	0,00950169
540	3,5542	0,00957468
550	3,6507	0,00964725
560	3,7479	0,00971824
570	3,8458	0,00978566
580	3,9443	0,00985423
590	4,0435	0,00992329
600	4,1434	0,00998828
610	4,2438	0,01004215
620	4,3449	0,01010369

630	4,4465	0,01016074
640	4,5487	0,01022066
650	4,6515	0,010278
660	4,7549	0,01033864
670	4,8588	0,01039608
680	4,9633	0,01045019
690	5,0684	0,01050536
700	5,1740	0,01055877
710	5,2800	0,01060651
720	5,3867	0,01066494
730	5,4937	0,01070551
740	5,6014	0,01076312
750	5,7094	0,01080738
760	5,8180	0,01085837
770	5,9271	0,01090369
780	6,0366	0,01095122
790	6,1465	0,01099353
800	6,2569	0,01104223
810	6,3677	0,01108206
820	6,4790	0,0111275
830	6,5908	0,01117341
840	6,7029	0,01121385
850	6,8154	0,01125504
860	6,9284	0,01129085
870	7,0417	0,01133886
880	7,1555	0,01137188
890	7,2695	0,01140297
900	7,3837	0,01142559
910	7,4984	0,01146825
920	7,6135	0,01150652
930	7,7289	0,01154009
940	7,8446	0,01156703
950	7,9606	0,01160871
960	8,0771	0,01164382
970	8,1937	0,01165999
980	8,3107	0,01169684
990	8,4280	0,01173197
1000	8,5456	0,01175864
1010	8,6635	0,01179025
1020	8,7816	0,01181452
1030	8,9000	0,01183911
1040	9,0186	0,01186449
1050	9,1376	0,01189608
1060	9,2568	0,01192428
1070	9,3763	0,01194239
1080	9,4959	0,01196615
1090	9,6159	0,0119949
1100	9,7360	0,0120119

1110	9,8563	0,01202836
1120	9,9768	0,01205478
1130	10,0915	0,01147155
1140	10,2125	0,01209209
1150	10,3336	0,01211114
1160	10,4549	0,01213187
1170	10,5764	0,01214881
1180	10,6981	0,01216622
1190	10,8199	0,01218198
1200	10,9418	0,0121972
1210	11,0640	0,01221486
1220	11,1862	0,01221986
1230	11,3087	0,01225483
1240	11,4314	0,01226265
1250	11,5541	0,01227535
1260	11,6770	0,01228449
1270	11,7999	0,01228975
1280	11,9229	0,01230092
1290	12,0460	0,01231713
1300	12,1693	0,01232634
1310	12,2926	0,01233246
1320	12,4160	0,01233438
1330	12,5394	0,01234275
1340	12,6629	0,01235289
1350	12,7866	0,01236732
1360	12,8102	0,01236282
1370	12,9931	0,01239151
1380	13,0368	0,01236795
1390	13,1605	0,01237065
1400	13,2842	0,01237107
1410	13,4079	0,01236545
1420	13,5314	0,01235358
1430	13,6550	0,01235199
1440	13,7784	0,01234707
1450	13,9017	0,01232851
1460	14,0249	0,01231472
1470	14,1480	0,01231658
1480	14,2709	0,01229275
1490	14,3937	0,01227984
1500	14,5165	0,01227358
1510	14,6390	0,01225061
1520	14,7614	0,01223993
1530	14,8897	0,01283236
1540	15,0118	0,01220541
1550	15,1338	0,0122002
1560	15,2557	0,01219331
1570	15,3775	0,01217637
1580	15,4987	0,01212805

1590	15,6199	0,0121202
1600	15,7412	0,01212483
1610	15,8621	0,01209533
1620	15,9829	0,01207968
1630	16,1034	0,0120431
1640	16,2238	0,01204615
1650	16,3441	0,01202969
1660	16,4640	0,01199129
1670	16,5836	0,01195322
1680	16,7031	0,01194866
1690	16,8222	0,01191023
1700	16,9412	0,01190047
1710	17,0599	0,01187011
1720	17,1781	0,01182272
1730	17,2961	0,01179742
1740	17,4140	0,01179436
1750	17,5317	0,01176973
1760	17,6491	0,01173424
1770	17,7659	0,01167998
1780	17,8825	0,01166781
1790	17,9990	0,01164591
1800	18,1150	0,01160327
1810	18,2309	0,01158831
1820	18,3464	0,01155054
1830	18,4615	0,01150434
1840	18,5764	0,0114903
1850	18,6909	0,01145681
1860	18,8049	0,01139887
1870	18,9184	0,01134943
1880	19,0318	0,0113346
1890	19,1446	0,01127893
1900	19,2573	0,011278
1910	19,3697	0,0112395
1920	19,4809	0,01111863
1930	19,5925	0,01116366
1940	19,7028	0,01102781
1950	19,8123	0,01094548
1960	19,9229	0,01106594
1970	19,9874	0,01064409
1980	20,0962	0,01088339
1990	20,2043	0,01081214
2000	20,3114	0,01071292
2010	20,4184	0,01069602
2020	20,5240	0,01055585
2030	20,6291	0,0105121
2040	20,7338	0,01047066
2050	20,8380	0,01041816
2060	20,9425	0,01045797

2070	21,0467	0,01041292
2080	21,1511	0,0104382
2090	21,2552	0,01041492
2100	21,3587	0,0103489
2110	21,4616	0,01029258
2120	21,5639	0,01023067
2130	21,6656	0,01016373
2140	21,7665	0,0100956
2150	21,8668	0,01002651
2160	21,9664	0,00996221
2170	22,0653	0,00989093
2180	22,1635	0,00982243
2190	22,2610	0,00975042
2200	22,3579	0,00968111
2210	22,4539	0,00960866
2220	22,5493	0,00953631
2230	22,6439	0,00946429
2240	22,7378	0,00938951
2250	22,8310	0,00931609
2260	22,9234	0,00924134
2270	23,0150	0,00916284
2280	23,1059	0,00908848
2290	23,1960	0,00900719
2300	23,2853	0,00892829
2310	23,3737	0,00884339
2320	23,4613	0,00876082
2330	23,5480	0,00867178
2340	23,6339	0,00858665
2350	23,7188	0,00849172
2360	23,8027	0,0083891
2370	23,8848	0,00820429
2380	23,8865	0,00817552
2390	23,9275	0,00809793
2400	24,0079	0,00804109
2410	24,0875	0,00795557
2420	24,1661	0,00785993
2430	24,2436	0,00775717
2440	24,3202	0,00765959
2450	24,3958	0,00755333
2460	24,4702	0,00744526

2470	24,5436	0,00733517
2480	24,6158	0,00722064
2490	24,6868	0,00710479
2500	24,7567	0,00698802
2510	24,8254	0,00686939
2520	24,8929	0,0067469
2530	24,9590	0,00661848
2540	25,0239	0,00648559
2550	25,0874	0,0063502
2560	25,1495	0,00620512
2570	25,2100	0,00605848
2580	25,2691	0,00590319
2590	25,3266	0,00575016
2600	25,3824	0,00558675
2610	25,4366	0,00541704
2620	25,4890	0,00523707
2630	25,5395	0,00505224
2640	25,5881	0,00486122
2650	25,6347	0,00466154
2660	25,6793	0,00445304
2670	25,6873	0,00438078
2680	25,6875	0,00430741
2690	25,7252	0,00377123
2700	25,7602	0,00350058
2710	25,7926	0,00324393
2720	25,8230	0,00303314
2730	25,8512	0,00282163
2740	25,8768	0,0025618
2750	25,8990	0,00222032
2760	25,9145	0,00154637
2770	25,9197	0,00052378
2780	25,9246	0,0004948
2790	25,9296	0,00049389
2800	25,9345	0,00049335
2810	25,9395	0,00049322
2820	25,9444	0,00049341
2830	25,9493	0,00049363
2840	25,9543	0,00049383
2850	25,9592	0,00049401
2856	25,9641	0,00049413

Таблиця А.9. Градувальна таблиця РГС-15 розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення Мм	Об'єм сегменту (м³)	Місткість (м³)	Коефіцієнт місткості, м³ /мм
0	0	0	
10	0,00025062	0,001380607	0,000138
20	0,000498573	0,005252747	0,000387
30	0,00074386	0,011589758	0,000634
40	0,000986481	0,020364977	0,000878
50	0,001226436	0,031551744	0,001119
60	0,001463725	0,045123396	0,001357
70	0,001698348	0,061053272	0,001593
80	0,001930304	0,079314711	0,001826
90	0,002159595	0,09988105	0,002057
100	0,002386219	0,122725629	0,002284
110	0,002610177	0,147821784	0,00251
120	0,002831468	0,175142856	0,002732
130	0,003050094	0,204662181	0,002952
140	0,003266054	0,236353098	0,003169
150	0,003479347	0,270188947	0,003384
160	0,003689974	0,306143064	0,003595
170	0,003897935	0,344188789	0,003805
180	0,00410323	0,384299459	0,004011
190	0,004305858	0,426448414	0,004215
200	0,004505821	0,470608991	0,004416
210	0,004703117	0,516754528	0,004615
220	0,004897747	0,564858365	0,00481
230	0,005089711	0,614893839	0,005004
240	0,005279009	0,666834289	0,005194
250	0,005465641	0,720653052	0,005382
260	0,005649606	0,776323469	0,005567
270	0,005830905	0,833818876	0,00575
280	0,006009539	0,893112612	0,005929
290	0,006185506	0,954178015	0,006107
300	0,006358806	1,016988424	0,006281
310	0,006529441	1,081517178	0,006453
320	0,006697409	1,147737613	0,006622
330	0,006862712	1,21562307	0,006789
340	0,007025348	1,285146886	0,006952
350	0,007185318	1,356282399	0,007114
360	0,007342622	1,429002948	0,007272
370	0,007497259	1,503281871	0,007428
380	0,007649231	1,579092506	0,007581
390	0,007798536	1,656408192	0,007732
400	0,007945175	1,735202268	0,007879
410	0,008089148	1,815448071	0,008025
420	0,008230455	1,897118939	0,008167
430	0,008369096	1,980188212	0,008307

440	0,00850507	2,064629228	0,008444
450	0,008638378	2,150415324	0,008579
460	0,008769021	2,237519839	0,00871
470	0,008896997	2,325916112	0,00884
480	0,009022306	2,415577481	0,008966
490	0,00914495	2,506477284	0,00909
500	0,009264927	2,59858886	0,009211
510	0,009382239	2,691885546	0,00933
520	0,009496884	2,786340681	0,009446
530	0,009608863	2,881927605	0,009559
540	0,009718176	2,978619654	0,009669
550	0,009824822	3,076390167	0,009777
560	0,009928803	3,175212482	0,009882
570	0,010030117	3,275059939	0,009985
580	0,010128765	3,375905875	0,010085
590	0,010224747	3,477723628	0,010182
600	0,010318063	3,580486538	0,010276
610	0,010408713	3,684167941	0,010368
620	0,010496696	3,788741178	0,010457
630	0,010582014	3,894179585	0,010544
640	0,010664665	4,000456501	0,010628
650	0,01074465	4,107545265	0,010709
660	0,010821969	4,215419215	0,010787
670	0,010896621	4,324051689	0,010863
680	0,010968608	4,433416026	0,010936
690	0,011037928	4,543485564	0,011007
700	0,011104582	4,654233641	0,011075
710	0,01116857	4,765633595	0,01114
720	0,011229892	4,877658766	0,011203
730	0,011288548	4,990282491	0,011262
740	0,011344537	5,103478108	0,01132
750	0,01139786	5,217218957	0,011374
760	0,011448518	5,331478375	0,011426
770	0,011496509	5,4462297	0,011475
780	0,011541833	5,561446272	0,011522
790	0,011584492	5,677101428	0,011566
800	0,011624485	5,793168506	0,011607
810	0,011661811	5,909620846	0,011645
820	0,011696471	6,026431785	0,011681
830	0,011728465	6,143574661	0,011714
840	0,011757793	6,261022814	0,011745
850	0,011784454	6,378749581	0,011773
860	0,01180845	6,496728301	0,011798
870	0,011829779	6,614932312	0,01182
880	0,011848442	6,733334952	0,01184
890	0,011864439	6,85190956	0,011857
900	0,01187777	6,970629473	0,011872
910	0,011888435	7,089468032	0,011884

920	0,011896433	7,208398573	0,011893
930	0,011901766	7,327394435	0,0119
940	0,011904432	7,446428956	0,011903
950	0,011904432	7,565475476	0,011905
960	0,011901766	7,684507331	0,011903
970	0,011896433	7,803497861	0,011899
980	0,011888435	7,922420403	0,011892
990	0,01187777	8,041248297	0,011883
1000	0,011864439	8,15995488	0,011871
1010	0,011848442	8,278513491	0,011856
1020	0,011829779	8,396897468	0,011838
1030	0,01180845	8,515080149	0,011818
1040	0,011784454	8,633034873	0,011795
1050	0,011757793	8,750734979	0,01177
1060	0,011728465	8,868153804	0,011742
1070	0,011696471	8,985264686	0,011711
1080	0,011661811	9,102040965	0,011678
1090	0,011624485	9,218455978	0,011642
1100	0,011584492	9,334483064	0,011603
1110	0,011541833	9,450095561	0,011561
1120	0,011496509	9,565266808	0,011517
1130	0,011448518	9,679970143	0,01147
1140	0,01139786	9,794178903	0,011421
1150	0,011344537	9,907866429	0,011369
1160	0,011288548	10,02100606	0,011314
1170	0,011229892	10,13357113	0,011257
1180	0,01116857	10,24553497	0,011196
1190	0,011104582	10,35687094	0,011134
1200	0,011037928	10,46755236	0,011068
1210	0,010968608	10,57755258	0,011
1220	0,010896621	10,68684493	0,010929
1230	0,010821969	10,79540275	0,010856
1240	0,01074465	10,90319938	0,01078
1250	0,010664665	11,01020816	0,010701
1260	0,010582014	11,11640243	0,010619
1270	0,010496696	11,22175552	0,010535
1280	0,010408713	11,32624077	0,010449
1290	0,010318063	11,42983153	0,010359
1300	0,010224747	11,53250112	0,010267
1310	0,010128765	11,63422289	0,010172
1320	0,010030117	11,73497018	0,010075
1330	0,009928803	11,83471632	0,009975
1340	0,009824822	11,93343466	0,009872
1350	0,009718176	12,03109852	0,009766
1360	0,009608863	12,12768126	0,009658
1370	0,009496884	12,2231562	0,009547
1380	0,009382239	12,31749669	0,009434
1390	0,009264927	12,41067607	0,009318

1400	0,00914495	12,50266767	0,009199
1410	0,009022306	12,59344483	0,009078
1420	0,008896997	12,68298088	0,008954
1430	0,008769021	12,77124918	0,008827
1440	0,008638378	12,85822305	0,008697
1450	0,00850507	12,94387584	0,008565
1460	0,008369096	13,02818088	0,008431
1470	0,008230455	13,11111152	0,008293
1480	0,008089148	13,19264108	0,008153
1490	0,007945175	13,27274291	0,00801
1500	0,007798536	13,35139034	0,007865
1510	0,007649231	13,42855672	0,007717
1520	0,007497259	13,50421539	0,007566
1530	0,007342622	13,57833967	0,007412
1540	0,007185318	13,65090292	0,007256
1550	0,007025348	13,72187846	0,007098
1560	0,006862712	13,79123964	0,006936
1570	0,006697409	13,8589598	0,006772
1580	0,006529441	13,92501226	0,006605
1590	0,006358806	13,98937038	0,006436
1600	0,006185506	14,05200749	0,006264
1610	0,006009539	14,11289693	0,006089
1620	0,005830905	14,17201203	0,005912
1630	0,005649606	14,22932614	0,005731
1640	0,005465641	14,28481259	0,005549
1650	0,005279009	14,33844472	0,005363
1660	0,005089711	14,39019587	0,005175
1670	0,004897747	14,44003938	0,004984
1680	0,004703117	14,48794859	0,004791
1690	0,004505821	14,53389683	0,004595
1700	0,004305858	14,57785744	0,004396
1710	0,00410323	14,61980377	0,004195
1720	0,003897935	14,65970915	0,003991
1730	0,003689974	14,69754691	0,003784
1740	0,003479347	14,7332904	0,003574
1750	0,003266054	14,76691296	0,003362
1760	0,003050094	14,79838791	0,003147
1770	0,002831468	14,82768861	0,00293
1780	0,002610177	14,85478839	0,00271
1790	0,002386219	14,87966059	0,002487
1800	0,002159595	14,90227854	0,002262
1810	0,001930304	14,92261559	0,002034
1820	0,001698348	14,94064508	0,001803
1830	0,001463725	14,95634033	0,00157
1840	0,001226436	14,96967469	0,001333
1850	0,000986481	14,9806215	0,001095
1860	0,00074386	14,9891541	0,000853
1870	0,000498573	14,99524583	0,000609

1880	0,00025062	14,99887001	0,000362
------	------------	-------------	----------

Таблиця А.10. Градууювальна таблиця РГС-15 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	7,37E-07	
10	0,000798	7,97E-05
20	0,003507	0,000271
30	0,00831	0,00048
40	0,015392	0,000708
50	0,024939	0,000955
60	0,037113	0,001217
70	0,052315	0,00152
80	0,070834	0,001852
90	0,092918	0,002208
100	0,118962	0,002604
110	0,149183	0,003022
120	0,183163	0,003398
130	0,220469	0,003731
140	0,260776	0,004031
150	0,303864	0,004309
160	0,349574	0,004571
170	0,397755	0,004818
180	0,448309	0,005055
190	0,501086	0,005278
200	0,55595	0,005486
210	0,612827	0,005688
220	0,671647	0,005882
230	0,732308	0,006066
240	0,794742	0,006243
250	0,858901	0,006416
260	0,924725	0,006582
270	0,992156	0,006743
280	1,061127	0,006897
290	1,131583	0,007046
300	1,203471	0,007189
310	1,276731	0,007326
320	1,351304	0,007457
330	1,427137	0,007583
340	1,504183	0,007705
350	1,582419	0,007824
360	1,6618	0,007938

370	1,742283	0,008048
380	1,823837	0,008155
390	1,906426	0,008259
400	1,990023	0,00836
410	2,0746	0,008458
420	2,160127	0,008553
430	2,246591	0,008646
440	2,333954	0,008736
450	2,422197	0,008824
460	2,51129	0,008909
470	2,601204	0,008991
480	2,691919	0,009071
490	2,783421	0,00915
500	2,875675	0,009225
510	2,968668	0,009299
520	3,062371	0,00937
530	3,156768	0,00944
540	3,251835	0,009507
550	3,347554	0,009572
560	3,443911	0,009636
570	3,540883	0,009697
580	3,638446	0,009756
590	3,736591	0,009815
600	3,835284	0,009869
610	3,934519	0,009924
620	4,03428	0,009976
630	4,134544	0,010026
640	4,235304	0,010076
650	4,33653	0,010123
660	4,438212	0,010168
670	4,540341	0,010213
680	4,642891	0,010255
690	4,745846	0,010296
700	4,849193	0,010335
710	4,952919	0,010373
720	5,05699	0,010407
730	5,161412	0,010442
740	5,266161	0,010475
750	5,37122	0,010506
760	5,476577	0,010536
770	5,582208	0,010563

780	5,688105	0,01059
790	5,794245	0,010614
800	5,900616	0,010637
810	6,0072	0,010658
820	6,113987	0,010679
830	6,220962	0,010698
840	6,328102	0,010714
850	6,435412	0,010731
860	6,542859	0,010745
870	6,650431	0,010757
880	6,758116	0,010769
890	6,865903	0,010779
900	6,973773	0,010787
910	7,0817	0,010793
920	7,189677	0,010798
930	7,297691	0,010801
940	7,405727	0,010804
950	7,513774	0,010805
960	7,621819	0,010805
970	7,729847	0,010803
980	7,837847	0,0108
990	7,9458	0,010795
1000	8,053694	0,010789
1010	8,16151	0,010782
1020	8,269234	0,010772
1030	8,376848	0,010761
1040	8,484335	0,010749
1050	8,591694	0,010736
1060	8,698897	0,01072
1070	8,805927	0,010703
1080	8,912777	0,010685
1090	9,019416	0,010664
1100	9,125841	0,010642
1110	9,232037	0,01062
1120	9,337983	0,010595
1130	9,44366	0,010568
1140	9,549055	0,01054
1150	9,65416	0,01051
1160	9,75894	0,010478
1170	9,863389	0,010445
1180	9,967499	0,010411
1190	10,07124	0,010374
1200	10,1746	0,010336
1210	10,27756	0,010296
1220	10,38012	0,010255
1230	10,48224	0,010212
1240	10,5839	0,010167
1250	10,68507	0,010116

1260	10,78573	0,010067
1270	10,88594	0,010021
1280	10,98562	0,009968
1290	11,08475	0,009913
1300	11,1833	0,009855
1310	11,28129	0,009799
1320	11,37868	0,009739
1330	11,47548	0,009679
1340	11,57165	0,009617
1350	11,66717	0,009552
1360	11,76204	0,009487
1370	11,85623	0,009419
1380	11,94973	0,00935
1390	12,04251	0,009277
1400	12,13456	0,009205
1410	12,22585	0,009129
1420	12,31636	0,009051
1430	12,40607	0,008971
1440	12,49495	0,008888
1450	12,58299	0,008804
1460	12,67015	0,008716
1470	12,75641	0,008627
1480	12,84176	0,008534
1490	12,92614	0,008439
1500	13,00952	0,008338
1510	13,09181	0,008229
1520	13,17308	0,008127
1530	13,25347	0,008039
1540	13,33282	0,007935
1550	13,41107	0,007825
1560	13,48819	0,007711
1570	13,56413	0,007595
1580	13,63885	0,007472
1590	13,71215	0,00733
1600	13,78419	0,007204
1610	13,85503	0,007084
1620	13,92457	0,006954
1630	13,99273	0,006816
1640	14,05947	0,006674
1650	14,12474	0,006527
1660	14,18847	0,006374
1670	14,25063	0,006216
1680	14,31115	0,006051
1690	14,36995	0,005881
1700	14,42699	0,005703
1710	14,48218	0,005519
1720	14,53545	0,005327
1730	14,5867	0,005125

1740	14,63581	0,004911
1750	14,68268	0,004687
1760	14,72717	0,004449

1770	14,76912	0,004195
1780	14,80833	0,003921

Таблиця А.11. Градувальна таблиця РГС-50 розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, Мм	Об'єм сегменту (м ³)	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м ³ / мм
0	0,002596	0,002596	
10	0,002787	0,02961	0,002701
20	0,002978	0,058532	0,002892
30	0,003169	0,089364	0,003083
40	0,00336	0,122104	0,003274
50	0,003551	0,156754	0,003465
60	0,003742	0,193313	0,003656
70	0,003933	0,231781	0,003847
80	0,004124	0,272158	0,004038
90	0,004315	0,314444	0,004229
100	0,004505	0,358639	0,00442
110	0,004696	0,404743	0,00461
120	0,004887	0,452756	0,004801
130	0,005078	0,502679	0,004992
140	0,005269	0,55451	0,005183
150	0,00546	0,608251	0,005374
160	0,005651	0,6639	0,005565
170	0,005842	0,721459	0,005756
180	0,006033	0,780926	0,005947
190	0,006224	0,842303	0,006138
200	0,006414	0,905589	0,006329
210	0,006605	0,970784	0,006519
220	0,006796	1,037888	0,00671
230	0,006987	1,106901	0,006901
240	0,007178	1,177823	0,007092
250	0,007369	1,250655	0,007283
260	0,00756	1,325395	0,007474
270	0,007751	1,402044	0,007665
280	0,007942	1,480603	0,007856
290	0,008133	1,56107	0,008047
300	0,008324	1,643447	0,008238
310	0,008514	1,727733	0,008429
320	0,008705	1,813927	0,008619
330	0,008896	1,902031	0,00881
340	0,009087	1,992044	0,009001
350	0,009278	2,083966	0,009192

360	0,009469	2,177797	0,009383
370	0,00966	2,273537	0,009574
380	0,009851	2,371186	0,009765
390	0,010042	2,470745	0,009956
400	0,010233	2,572212	0,010147
410	0,010424	2,675589	0,010338
420	0,010614	2,780874	0,010529
430	0,010805	2,888069	0,010719
440	0,010996	2,997172	0,01091
450	0,011187	3,108185	0,011101
460	0,011378	3,221107	0,011292
470	0,011569	3,335938	0,011483
480	0,01176	3,452678	0,011674
490	0,011951	3,571327	0,011865
500	0,012142	3,691885	0,012056
510	0,012333	3,814352	0,012247
520	0,012524	3,938728	0,012438
530	0,012714	4,065014	0,012629
540	0,012905	4,193208	0,012819
550	0,013096	4,323312	0,01301
560	0,013287	4,455324	0,013201
570	0,013478	4,589246	0,013392
580	0,013669	4,725077	0,013583
590	0,01386	4,862817	0,013774
600	0,014051	5,002465	0,013965
610	0,014242	5,144023	0,014156
620	0,014433	5,28749	0,014347
630	0,014624	5,432867	0,014538
640	0,014814	5,580152	0,014729
650	0,015005	5,729346	0,014919
660	0,015196	5,880449	0,01511
670	0,015387	6,033462	0,015301
680	0,015578	6,188383	0,015492
690	0,015769	6,345214	0,015683
700	0,01596	6,503953	0,015874
710	0,016151	6,664602	0,016065
720	0,016342	6,82716	0,016256
730	0,016533	6,991627	0,016447
740	0,016724	7,158003	0,016638
750	0,016914	7,326288	0,016829

760	0,017105	7,496482	0,017019
770	0,017296	7,668585	0,01721
780	0,017487	7,842597	0,017401
790	0,017678	8,018519	0,017592
800	0,017869	8,196349	0,017783
810	0,01806	8,376088	0,017974
820	0,018251	8,557737	0,018165
830	0,018442	8,741295	0,018356
840	0,018633	8,926761	0,018547
850	0,018823	9,114137	0,018738
860	0,019014	9,303422	0,018928
870	0,019205	9,494616	0,019119
880	0,019396	9,687719	0,01931
890	0,019587	9,882731	0,019501
900	0,019778	10,07965	0,019692
910	0,019969	10,27848	0,019883
920	0,02016	10,47922	0,020074
930	0,020351	10,68187	0,020265
940	0,020542	10,88643	0,020456
950	0,020733	11,09289	0,020647
960	0,020923	11,30127	0,020838
970	0,021114	11,51155	0,021028
980	0,021305	11,72375	0,021219
990	0,021496	11,93785	0,02141
1000	0,021687	12,15386	0,021601
1010	0,021878	12,37178	0,021792
1020	0,022069	12,59161	0,021983
1030	0,02226	12,81335	0,022174
1040	0,022451	13,037	0,022365
1050	0,022642	13,26256	0,022556
1060	0,022833	13,49002	0,022747
1070	0,023023	13,7194	0,022938
1080	0,023214	13,95068	0,023128
1090	0,023405	14,18388	0,023319
1100	0,023596	14,41898	0,02351
1110	0,023787	14,65599	0,023701
1120	0,023978	14,89491	0,023892
1130	0,024169	15,13574	0,024083
1140	0,02436	15,37848	0,024274
1150	0,024551	15,62313	0,024465
1160	0,024742	15,86969	0,024656
1170	0,024933	16,11815	0,024847
1180	0,025123	16,36853	0,025038
1190	0,025314	16,62081	0,025228
1200	0,025505	16,87501	0,025419
1210	0,025696	17,13111	0,02561
1220	0,025887	17,38912	0,025801
1230	0,025868	17,64835	0,025923

1240	0,025677	17,90599	0,025763
1250	0,025487	18,16171	0,025572
1260	0,025296	18,41553	0,025382
1270	0,025105	18,66743	0,025191
1280	0,024914	18,91744	0,025
1290	0,024724	19,16553	0,024809
1300	0,024533	19,41172	0,024619
1310	0,024342	19,656	0,024428
1320	0,024151	19,89837	0,024237
1330	0,023961	20,13883	0,024046
1340	0,02377	20,37739	0,023856
1350	0,023579	20,61404	0,023665
1360	0,023388	20,84878	0,023474
1370	0,023198	21,08161	0,023283
1380	0,023007	21,31254	0,023093
1390	0,022816	21,54155	0,022902
1400	0,022625	21,76867	0,022711
1410	0,022435	21,99387	0,02252
1420	0,022244	22,21717	0,02233
1430	0,022053	22,43855	0,022139
1440	0,021862	22,65804	0,021948
1450	0,021672	22,87561	0,021757
1460	0,021481	23,09127	0,021567
1470	0,02129	23,30503	0,021376
1480	0,021099	23,51688	0,021185
1490	0,020909	23,72683	0,020994
1500	0,020718	23,93486	0,020804
1510	0,020527	24,14099	0,020613
1520	0,020336	24,34521	0,020422
1530	0,020146	24,54753	0,020231
1540	0,019955	24,74793	0,020041
1550	0,019764	24,94643	0,01985
1560	0,019573	25,14302	0,019659
1570	0,019382	25,3377	0,019468
1580	0,019192	25,53048	0,019278
1590	0,019001	25,72135	0,019087
1600	0,01881	25,91031	0,018896
1610	0,018619	26,09736	0,018705
1620	0,018429	26,28251	0,018515
1630	0,018238	26,46575	0,018324
1640	0,018047	26,64708	0,018133
1650	0,017856	26,8265	0,017942
1660	0,017666	27,00402	0,017752
1670	0,017475	27,17962	0,017561
1680	0,017284	27,35333	0,01737
1690	0,017093	27,52512	0,017179
1700	0,016903	27,695	0,016989
1710	0,016712	27,86298	0,016798

1720	0,016521	28,02905	0,016607
1730	0,01633	28,19322	0,016416
1740	0,01614	28,35547	0,016226
1750	0,015949	28,51582	0,016035
1760	0,015758	28,67426	0,015844
1770	0,015567	28,83079	0,015653
1780	0,015377	28,98542	0,015463
1790	0,015186	29,13814	0,015272
1800	0,014995	29,28895	0,015081
1810	0,014804	29,43785	0,01489
1820	0,014614	29,58484	0,0147
1830	0,014423	29,72993	0,014509
1840	0,014232	29,87311	0,014318
1850	0,014041	30,01439	0,014127
1860	0,013851	30,15375	0,013937
1870	0,01366	30,29121	0,013746
1880	0,013469	30,42676	0,013555
1890	0,013278	30,5604	0,013364
1900	0,013088	30,69214	0,013174
1910	0,012897	30,82197	0,012983
1920	0,012706	30,94989	0,012792
1930	0,012515	31,0759	0,012601
1940	0,012325	31,2	0,012411
1950	0,012134	31,3222	0,01222
1960	0,011943	31,44249	0,012029
1970	0,011752	31,56087	0,011838
1980	0,011562	31,67735	0,011648
1990	0,011371	31,79192	0,011457
2000	0,01118	31,90458	0,011266
2010	0,010989	32,01533	0,011075
2020	0,010799	32,12417	0,010885
2030	0,010608	32,23111	0,010694
2040	0,010417	32,33614	0,010503
2050	0,010226	32,43926	0,010312
2060	0,010036	32,54048	0,010121
2070	0,009845	32,63979	0,009931
2080	0,009654	32,73719	0,00974

2090	0,009463	32,83268	0,009549
2100	0,009273	32,92626	0,009358
2110	0,009082	33,01794	0,009168
2120	0,008891	33,10771	0,008977
2130	0,0087	33,19557	0,008786
2140	0,00851	33,28153	0,008595
2150	0,008319	33,36558	0,008405
2160	0,008128	33,44772	0,008214
2170	0,007937	33,52795	0,008023
2180	0,007747	33,60627	0,007832
2190	0,007556	33,68269	0,007642
2200	0,007365	33,7572	0,007451
2210	0,007174	33,8298	0,00726
2220	0,006984	33,9005	0,007069
2230	0,006793	33,96928	0,006879
2240	0,006602	34,03616	0,006688
2250	0,006411	34,10114	0,006497
2260	0,006221	34,1642	0,006306
2270	0,00603	34,22536	0,006116
2280	0,005839	34,28461	0,005925
2290	0,005648	34,34195	0,005734
2300	0,005458	34,39738	0,005543
2310	0,005267	34,45091	0,005353
2320	0,005076	34,50253	0,005162
2330	0,004885	34,55224	0,004971
2340	0,004695	34,60005	0,00478
2350	0,004504	34,64594	0,00459
2360	0,004313	34,68993	0,004399
2370	0,004122	34,73202	0,004208
2380	0,003932	34,77219	0,004017
2390	0,003741	34,81046	0,003827
2400	0,00355	34,84682	0,003636
2410	0,003359	34,88127	0,003445
2420	0,003169	34,91381	0,003254
2430	0,002978	34,94445	0,003064
2440	0,002787	34,97318	0,002873

Таблиця А.12. Градувальна таблиця РГС-50 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м3 /мм
0	0	
10	0,001583	0,000158

20	0,006042	0,000446
30	0,013378	0,000734
40	0,02359	0,001021
50	0,036674	0,001308
60	0,052631	0,001596
70	0,071456	0,001882

80	0,093146	0,002169
90	0,117699	0,002455
100	0,14511	0,002741
110	0,175374	0,003026
120	0,208487	0,003311
130	0,244442	0,003596
140	0,283236	0,003879
150	0,32486	0,004162
160	0,369307	0,004445
170	0,416572	0,004726
180	0,466646	0,005007
190	0,51952	0,005287
200	0,575186	0,005567
210	0,633635	0,005845
220	0,694857	0,006122
230	0,758842	0,006399
240	0,82558	0,006674
250	0,89506	0,006948
260	0,96727	0,007221
270	1,042198	0,007493
280	1,119832	0,007763
290	1,20016	0,008033
300	1,283167	0,008301
310	1,368841	0,008567
320	1,457168	0,008833
330	1,548132	0,009096
340	1,641719	0,009359
350	1,737913	0,009619
360	1,836699	0,009879
370	1,93806	0,010136
380	2,041981	0,010392
390	2,148443	0,010646
400	2,257429	0,010899
410	2,368921	0,011149
420	2,482901	0,011398
430	2,59935	0,011645
440	2,718249	0,01189
450	2,839579	0,012133
460	2,963319	0,012374
470	3,08945	0,012613
480	3,217949	0,01285
490	3,348798	0,013085
500	3,481972	0,013317
510	3,617452	0,013548
520	3,755215	0,013776
530	3,895237	0,014002
540	4,037496	0,014226
550	4,181969	0,014447

560	4,328631	0,014666
570	4,47746	0,014883
580	4,628429	0,015097
590	4,781515	0,015309
600	4,936692	0,015518
610	5,093935	0,015724
620	5,253217	0,015928
630	5,414513	0,01613
640	5,577797	0,016328
650	5,74304	0,016524
660	5,910217	0,016718
670	6,079299	0,016908
680	6,25026	0,017096
690	6,423069	0,017281
700	6,597701	0,017463
710	6,774124	0,017642
720	6,952312	0,017819
730	7,132233	0,017992
740	7,31386	0,018163
750	7,497161	0,01833
760	7,682107	0,018495
770	7,868667	0,018656
780	8,05681	0,018814
790	8,246507	0,01897
800	8,437725	0,019122
810	8,630433	0,019271
820	8,824599	0,019417
830	9,020192	0,019559
840	9,217179	0,019699
850	9,415528	0,019835
860	9,615206	0,019968
870	9,81618	0,020097
880	10,01842	0,020224
890	10,22189	0,020347
900	10,42655	0,020466
910	10,63238	0,020583
920	10,83934	0,020696
930	11,04739	0,020805
940	11,2565	0,020911
950	11,46664	0,021014
960	11,67777	0,021113
970	11,88986	0,021209
980	12,10287	0,021301
990	12,31677	0,02139
1000	12,53152	0,021475
1010	12,74709	0,021557
1020	12,96344	0,021635
1030	13,18054	0,02171

1040	13,39834	0,021781
1050	13,61682	0,021848
1060	13,83594	0,021912
1070	14,05566	0,021972
1080	14,27595	0,022029
1090	14,49677	0,022082
1100	14,71808	0,022131
1110	14,93985	0,022177
1120	15,16204	0,022219
1130	15,38461	0,022257
1140	15,60753	0,022292
1150	15,83077	0,022323
1160	16,05427	0,022351
1170	16,27802	0,022375
1180	16,50196	0,022395
1190	16,72607	0,022411
1200	16,95031	0,022424
1210	17,17464	0,022433
1220	17,39902	0,022438
1230	17,62342	0,02244
1240	17,8478	0,022438
1250	18,07212	0,022432
1260	18,29634	0,022423
1270	18,52044	0,02241
1280	18,74437	0,022393
1290	18,96809	0,022372
1300	19,19157	0,022348
1310	19,41477	0,02232
1320	19,63766	0,022289
1330	19,8602	0,022254
1340	20,08235	0,022215
1350	20,30407	0,022172
1360	20,52534	0,022126
1370	20,7461	0,022077
1380	20,96634	0,022023
1390	21,186	0,021966
1400	21,40506	0,021906
1410	21,62347	0,021841
1420	21,84121	0,021774
1430	22,05823	0,021702
1440	22,2745	0,021627
1450	22,48999	0,021549
1460	22,70466	0,021467
1470	22,91847	0,021381
1480	23,13139	0,021292
1490	23,34338	0,021199
1500	23,55442	0,021103
1510	23,76446	0,021004

1520	23,97347	0,020901
1530	24,18141	0,020794
1540	24,38826	0,020685
1550	24,59397	0,020571
1560	24,79851	0,020455
1570	25,00186	0,020335
1580	25,20397	0,020211
1590	25,40482	0,020085
1600	25,60437	0,019955
1610	25,80258	0,019821
1620	25,99943	0,019685
1630	26,19488	0,019545
1640	26,3889	0,019402
1650	26,58146	0,019256
1660	26,77253	0,019107
1670	26,96207	0,018954
1680	27,15006	0,018799
1690	27,33646	0,01864
1700	27,52124	0,018478
1710	27,70438	0,018314
1720	27,88584	0,018146
1730	28,06559	0,017975
1740	28,2436	0,017801
1750	28,41984	0,017625
1760	28,59429	0,017445
1770	28,76692	0,017263
1780	28,93769	0,017077
1790	29,10659	0,016889
1800	29,27357	0,016698
1810	29,43862	0,016505
1820	29,60171	0,016309
1830	29,7628	0,01611
1840	29,92188	0,015908
1850	30,07892	0,015704
1860	30,23389	0,015497
1870	30,38676	0,015288
1880	30,53752	0,015076
1890	30,68613	0,014861
1900	30,83258	0,014644
1910	30,97683	0,014425
1920	31,11887	0,014204
1930	31,25866	0,01398
1940	31,3962	0,013754
1950	31,53145	0,013525
1960	31,66439	0,013294
1970	31,79501	0,013061
1980	31,92327	0,012826
1990	32,04916	0,012589

2000	32,17266	0,01235
2010	32,29375	0,012109
2020	32,41241	0,011866
2030	32,52861	0,01162
2040	32,64234	0,011373
2050	32,75358	0,011124
2060	32,86232	0,010873
2070	32,96853	0,010621
2080	33,07219	0,010367
2090	33,1733	0,01011
2100	33,27182	0,009853
2110	33,36776	0,009593
2120	33,46108	0,009333
2130	33,55178	0,00907
2140	33,63985	0,008806
2150	33,72525	0,008541
2160	33,80799	0,008274
2170	33,88805	0,008006
2180	33,96542	0,007736
2190	34,04007	0,007466
2200	34,11201	0,007194
2210	34,18122	0,006921

2220	34,24768	0,006646
2230	34,31139	0,006371
2240	34,37233	0,006095
2250	34,43051	0,005817
2260	34,48589	0,005539
2270	34,53849	0,005259
2280	34,58828	0,004979
2290	34,63526	0,004698
2300	34,67943	0,004417
2310	34,72077	0,004134
2320	34,75928	0,003851
2330	34,79495	0,003567
2340	34,82778	0,003283
2350	34,85776	0,002998
2360	34,88489	0,002713
2370	34,90915	0,002427
2380	34,93056	0,00214
2390	34,94909	0,001854
2400	34,96476	0,001567
2401	34,96617	0,000141
2402	34,96755	0,000138

Таблиця А.13. Градувальна таблиця РГС-20 розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення. Мм	Об'єм сегменту (м^3)	Місткість (м^3)	Коефіцієнт місткості, м3 /мм
0	0,006664	0,006664	
10	0,006877	0,074478	0,006781
20	0,007091	0,144426	0,006995
30	0,007304	0,216508	0,007208
40	0,007518	0,290724	0,007422
50	0,007731	0,367075	0,007635
60	0,007945	0,44556	0,007848
70	0,008158	0,526179	0,008062
80	0,008371	0,608932	0,008275
90	0,008585	0,693819	0,008489
100	0,008798	0,780841	0,008702
110	0,009012	0,869996	0,008916
120	0,009225	0,961286	0,009129
130	0,009438	1,05471	0,009342
140	0,009652	1,150268	0,009556
150	0,009865	1,247961	0,009769
160	0,010079	1,347788	0,009983

170	0,010292	1,449748	0,010196
180	0,010506	1,553843	0,01041
190	0,010719	1,660073	0,010623
200	0,010932	1,768436	0,010836
210	0,011146	1,878934	0,01105
220	0,011359	1,991565	0,011263
230	0,011573	2,106331	0,011477
240	0,011786	2,223231	0,01169
250	0,011999	2,342266	0,011903
260	0,012213	2,463434	0,012117
270	0,012426	2,586737	0,01233
280	0,01264	2,712174	0,012544
290	0,012853	2,839745	0,012757
300	0,013067	2,96945	0,012971
310	0,01328	3,10129	0,013184
320	0,013493	3,235263	0,013397
330	0,013707	3,371371	0,013611
340	0,01392	3,509613	0,013824
350	0,014134	3,649989	0,014038
360	0,014347	3,7925	0,014251
370	0,01456	3,937144	0,014464

380	0,014774	4,083923	0,014678
390	0,014987	4,232836	0,014891
400	0,015201	4,383883	0,015105
410	0,015414	4,537064	0,015318
420	0,015628	4,69238	0,015532
430	0,015841	4,849829	0,015745
440	0,016054	5,009413	0,015958
450	0,016268	5,171131	0,016172
460	0,016481	5,334984	0,016385
470	0,016695	5,50097	0,016599
480	0,016908	5,669091	0,016812
490	0,017122	5,839346	0,017025
500	0,017335	6,011735	0,017239
510	0,017548	6,186258	0,017452
520	0,017762	6,362915	0,017666
530	0,017975	6,541707	0,017879
540	0,018189	6,722633	0,018093
550	0,018402	6,905692	0,018306
560	0,018615	7,090887	0,018519
570	0,018829	7,278215	0,018733
580	0,019042	7,467677	0,018946
590	0,019256	7,659274	0,01916
600	0,019469	7,853005	0,019373
610	0,019683	8,04887	0,019587
620	0,019896	8,246869	0,0198
630	0,020109	8,447003	0,020013
640	0,020323	8,64927	0,020227
650	0,020536	8,853672	0,02044
660	0,02075	9,060208	0,020654
670	0,020963	9,268879	0,020867
680	0,021176	9,479683	0,02108
690	0,02139	9,692621	0,021294
700	0,021603	9,907694	0,021507
710	0,021817	10,1249	0,021721
720	0,02203	10,34424	0,021934
730	0,022244	10,56572	0,022148
740	0,022457	10,78933	0,022361
750	0,02267	11,01507	0,022574
760	0,022884	11,24295	0,022788
770	0,023097	11,47296	0,023001
780	0,023311	11,70511	0,023215
790	0,023524	11,93939	0,023428
800	0,023738	12,1758	0,023641
810	0,023951	12,41435	0,023855
820	0,024164	12,65503	0,024068
830	0,024378	12,89785	0,024282
840	0,024591	13,1428	0,024495
850	0,024805	13,38989	0,024709

860	0,025018	13,63911	0,024922
870	0,025231	13,89046	0,025135
880	0,025445	14,14395	0,025349
890	0,025658	14,39957	0,025562
900	0,025872	14,65733	0,025776
910	0,026085	14,91722	0,025989
920	0,026299	15,17924	0,026202
930	0,026512	15,4434	0,026416
940	0,026725	15,7097	0,026629
950	0,026939	15,97812	0,026843
960	0,027152	16,24869	0,027056
970	0,027366	16,52138	0,02727
980	0,027579	16,79621	0,027483
990	0,027792	17,07318	0,027696
1000	0,028006	17,35227	0,02791
1010	0,028219	17,63351	0,028123
1020	0,028433	17,91687	0,028337
1030	0,028646	18,20237	0,02855
1040	0,02886	18,49001	0,028764
1050	0,029073	18,77978	0,028977
1060	0,029286	19,07168	0,02919
1070	0,0295	19,36572	0,029404
1080	0,029713	19,66189	0,029617
1090	0,029927	19,9602	0,029831
1100	0,03014	20,26064	0,030044
1110	0,030353	20,56321	0,030257
1120	0,030567	20,86792	0,030471
1130	0,03078	21,17476	0,030684
1140	0,030994	21,48374	0,030898
1150	0,031207	21,79485	0,031111
1160	0,031421	22,1081	0,031325
1170	0,031634	22,42348	0,031538
1180	0,031847	22,74099	0,031751
1190	0,032061	23,06064	0,031965
1200	0,032274	23,38242	0,032178
1210	0,032488	23,70634	0,032392
1220	0,032701	24,03239	0,032605
1230	0,032915	24,36057	0,032818
1240	0,033128	24,69089	0,033032
1250	0,033332	25,02332	0,033243
1260	0,033107	25,35535	0,033203
1270	0,032894	25,68525	0,032989
1280	0,03268	26,01301	0,032776
1290	0,032467	26,33864	0,032563
1300	0,032254	26,66214	0,03235
1310	0,032041	26,9835	0,032136
1320	0,031827	27,30273	0,031923
1330	0,031614	27,61983	0,03171

1340	0,031401	27,9348	0,031497
1350	0,031188	28,24763	0,031283
1360	0,030974	28,55834	0,03107
1370	0,030761	28,86691	0,030857
1380	0,030548	29,17334	0,030644
1390	0,030335	29,47765	0,03043
1400	0,030121	29,77982	0,030217
1410	0,029908	30,07986	0,030004
1420	0,029695	30,37777	0,029791
1430	0,029482	30,67354	0,029578
1440	0,029268	30,96719	0,029364
1450	0,029055	31,2587	0,029151
1460	0,028842	31,54807	0,028938
1470	0,028629	31,83532	0,028725
1480	0,028415	32,12043	0,028511
1490	0,028202	32,40341	0,028298
1500	0,027989	32,68426	0,028085
1510	0,027776	32,96297	0,027872
1520	0,027562	33,23956	0,027658
1530	0,027349	33,51401	0,027445
1540	0,027136	33,78633	0,027232
1550	0,026923	34,05651	0,027019
1560	0,026709	34,32456	0,026805
1570	0,026496	34,59048	0,026592
1580	0,026283	34,85427	0,026379
1590	0,02607	35,11593	0,026166
1600	0,025856	35,37545	0,025952
1610	0,025643	35,63284	0,025739
1620	0,02543	35,8881	0,025526
1630	0,025217	36,14122	0,025313
1640	0,025003	36,39222	0,025099
1650	0,02479	36,64108	0,024886
1660	0,024577	36,8878	0,024673
1670	0,024364	37,1324	0,02446
1680	0,02415	37,37486	0,024246
1690	0,023937	37,61519	0,024033
1700	0,023724	37,85339	0,02382
1710	0,023511	38,08946	0,023607
1720	0,023297	38,32339	0,023393
1730	0,023084	38,55519	0,02318
1740	0,022871	38,78486	0,022967
1750	0,022658	39,0124	0,022754
1760	0,022444	39,2378	0,02254
1770	0,022231	39,46107	0,022327
1780	0,022018	39,68221	0,022114
1790	0,021805	39,90121	0,021901
1800	0,021591	40,11809	0,021687
1810	0,021378	40,33283	0,021474

1820	0,021165	40,54544	0,021261
1830	0,020952	40,75591	0,021048
1840	0,020738	40,96425	0,020834
1850	0,020525	41,17047	0,020621
1860	0,020312	41,37454	0,020408
1870	0,020099	41,57649	0,020195
1880	0,019885	41,7763	0,019981
1890	0,019672	41,97398	0,019768
1900	0,019459	42,16953	0,019555
1910	0,019246	42,36295	0,019342
1920	0,019032	42,55423	0,019128
1930	0,018819	42,74338	0,018915
1940	0,018606	42,9304	0,018702
1950	0,018393	43,11529	0,018489
1960	0,018179	43,29804	0,018275
1970	0,017966	43,47866	0,018062
1980	0,017753	43,65715	0,017849
1990	0,01754	43,83351	0,017636
2000	0,017326	44,00773	0,017422
2010	0,017113	44,17982	0,017209
2020	0,0169	44,34978	0,016996
2030	0,016687	44,51761	0,016783
2040	0,016473	44,6833	0,016569
2050	0,01626	44,84686	0,016356
2060	0,016047	45,00829	0,016143
2070	0,015834	45,16759	0,01593
2080	0,01562	45,32475	0,015716
2090	0,015407	45,47978	0,015503
2100	0,015194	45,63268	0,01529
2110	0,014981	45,78345	0,015077
2120	0,014767	45,93208	0,014863
2130	0,014554	46,07858	0,01465
2140	0,014341	46,22295	0,014437
2150	0,014128	46,36519	0,014224
2160	0,013914	46,50529	0,01401
2170	0,013701	46,64326	0,013797
2180	0,013488	46,7791	0,013584
2190	0,013275	46,91281	0,013371
2200	0,013061	47,04438	0,013157
2210	0,012848	47,17382	0,012944
2220	0,012635	47,30113	0,012731
2230	0,012422	47,42631	0,012518
2240	0,012208	47,54935	0,012304
2250	0,011995	47,67027	0,012091
2260	0,011782	47,78904	0,011878
2270	0,011569	47,90569	0,011665
2280	0,011355	48,02021	0,011451
2290	0,011142	48,13259	0,011238

2300	0,010929	48,24284	0,011025
2310	0,010716	48,35095	0,010812
2320	0,010502	48,45694	0,010598
2330	0,010289	48,56079	0,010385
2340	0,010076	48,66251	0,010172
2350	0,009863	48,7621	0,009959
2360	0,009649	48,85955	0,009745
2370	0,009436	48,95487	0,009532
2380	0,009223	49,04806	0,009319
2390	0,00901	49,13912	0,009106
2400	0,008796	49,22804	0,008892

2410	0,008583	49,31483	0,008679
2420	0,00837	49,39949	0,008466
2430	0,008157	49,48202	0,008253
2440	0,007943	49,56242	0,008039
2450	0,00773	49,64068	0,007826
2460	0,007517	49,71681	0,007613
2470	0,007304	49,7908	0,0074
2480	0,00709	49,86267	0,007186
2490	0,006877	49,9324	0,006973
2497	0,006728	49,97994	0,004754

Таблиця А.14. Градувальна таблиця РГС-20 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м3 /мм
0	0,001	
10	0,013158	0,001216
20	0,029239	0,001608
30	0,049243	0,002
40	0,07317	0,002393
50	0,10102	0,002785
60	0,132793	0,003177
70	0,16849	0,00357
80	0,20811	0,003962
90	0,251653	0,004354
100	0,299118	0,004747
110	0,350508	0,005139
120	0,40582	0,005531
130	0,465055	0,005924
140	0,528214	0,006316
150	0,595295	0,006708
160	0,6663	0,0071
170	0,741228	0,007493
180	0,820079	0,007885
190	0,902853	0,008277
200	0,989551	0,00867
210	1,080171	0,009062
220	1,174715	0,009454
230	1,273182	0,009847
240	1,375572	0,010239
250	1,481885	0,010631
260	1,592121	0,011024
270	1,70628	0,011416

280	1,824363	0,011808
290	1,946368	0,012201
300	2,072297	0,012593
310	2,202149	0,012985
320	2,335924	0,013378
330	2,473622	0,01377
340	2,615243	0,014162
350	2,760788	0,014554
360	2,910255	0,014947
370	3,063646	0,015339
380	3,22096	0,015731
390	3,382197	0,016124
400	3,547357	0,016516
410	3,71644	0,016908
420	3,889447	0,017301
430	4,066376	0,017693
440	4,247229	0,018085
450	4,432005	0,018478
460	4,620704	0,01887
470	4,813326	0,019262
480	5,009871	0,019655
490	5,210339	0,020047
500	5,414731	0,020439
510	5,623046	0,020831
520	5,835283	0,021224
530	6,051444	0,021616
540	6,271528	0,022008
550	6,495536	0,022401
560	6,723466	0,022793
570	6,955319	0,023185
580	7,191096	0,023578
590	7,430796	0,02397

600	7,674419	0,024362
610	7,921965	0,024755
620	8,173434	0,025147
630	8,428826	0,025539
640	8,688142	0,025932
650	8,95138	0,026324
660	9,218542	0,026716
670	9,489627	0,027108
680	9,764635	0,027501
690	10,04357	0,027893
700	10,32642	0,028285
710	10,6132	0,028678
720	10,9039	0,02907
730	11,19852	0,029462
740	11,49707	0,029855
750	11,79954	0,030247
760	12,10593	0,030639
770	12,41625	0,031032
780	12,73049	0,031424
790	13,04865	0,031816
800	13,37074	0,032209
810	13,69674	0,032601
820	14,02668	0,032993
830	14,36053	0,033386
840	14,69831	0,033778
850	15,04001	0,03417
860	15,38564	0,034562
870	15,73518	0,034955
880	16,08865	0,035347
890	16,44605	0,035739
900	16,80737	0,036132
910	17,17261	0,036524
920	17,54177	0,036916
930	17,91486	0,037309
940	18,29186	0,037701
950	18,6728	0,038093
960	19,05765	0,038486
970	19,44643	0,038878
980	19,83913	0,03927
990	20,23576	0,039663
1000	20,63631	0,040055
1010	21,04078	0,040447
1020	21,44917	0,040839
1030	21,86149	0,041232
1040	22,27773	0,041624
1050	22,6979	0,042016
1060	23,12198	0,042409
1070	23,55	0,042801

1080	23,98193	0,043193
1090	24,41779	0,043586
1100	24,85757	0,043978
1110	25,30127	0,04437
1120	25,74889	0,044763
1130	26,20044	0,045155
1140	26,65592	0,045547
1150	27,11531	0,04594
1160	27,57863	0,046332
1170	28,04587	0,046724
1180	28,51704	0,047116
1190	28,99212	0,047509
1200	29,47114	0,047901
1210	29,95407	0,048293
1220	30,44093	0,048686
1230	30,93171	0,049078
1240	31,42641	0,04947
1250	31,925	0,049859
1260	32,42284	0,049784
1270	32,91677	0,049392
1280	33,40677	0,049
1290	33,89286	0,048608
1300	34,37502	0,048216
1310	34,85326	0,047824
1320	35,32759	0,047432
1330	35,79799	0,04704
1340	36,26448	0,046648
1350	36,72704	0,046256
1360	37,18568	0,045864
1370	37,64041	0,045472
1380	38,09121	0,04508
1390	38,5381	0,044688
1400	38,98106	0,044296
1410	39,4201	0,043904
1420	39,85523	0,043512
1430	40,28643	0,04312
1440	40,71372	0,042728
1450	41,13708	0,042336
1460	41,55652	0,041944
1470	41,97205	0,041552
1480	42,38365	0,04116
1490	42,79134	0,040768
1500	43,1951	0,040376
1510	43,59494	0,039984
1520	43,99087	0,039592
1530	44,38287	0,0392
1540	44,77096	0,038808
1550	45,15512	0,038416

1560	45,53536	0,038024
1570	45,91169	0,037632
1580	46,28409	0,03724
1590	46,65258	0,036848
1600	47,01714	0,036456
1610	47,37778	0,036064
1620	47,73451	0,035672

1630	48,08731	0,03528
1640	48,4362	0,034888
1650	48,78116	0,034496
1660	49,1222	0,034104
1670	49,45933	0,033712
1680	49,79253	0,03332
1686	49,99057	0,019804

Таблиця А.15. Градувальна таблиця РГС-45 розрахована
розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповне ння. Мм	Об'єм сегмент у (м ³)	Місткіс ть (м ³)	Коефіцієн т місткості, м3 /мм
0	0,001	0,001	
10	0,0012	0,012101	0,00111
20	0,0014	0,025204	0,00131
30	0,001601	0,04031	0,001511
40	0,001801	0,057417	0,001711
50	0,002001	0,076527	0,001911
60	0,002201	0,097639	0,002111
70	0,002401	0,120752	0,002311
80	0,002602	0,145868	0,002512
90	0,002802	0,172986	0,002712
100	0,003002	0,202106	0,002912
110	0,003202	0,233229	0,003112
120	0,003403	0,266353	0,003312
130	0,003603	0,301479	0,003513
140	0,003803	0,338608	0,003713
150	0,004003	0,377739	0,003913
160	0,004203	0,418871	0,004113
170	0,004404	0,462006	0,004313
180	0,004604	0,507143	0,004514
190	0,004804	0,554282	0,004714
200	0,005004	0,603424	0,004914
210	0,005204	0,654567	0,005114
220	0,005405	0,707712	0,005315
230	0,005605	0,76286	0,005515
240	0,005805	0,820009	0,005715
250	0,006005	0,879161	0,005915
260	0,006205	0,940315	0,006115
270	0,006406	1,003471	0,006316
280	0,006606	1,068629	0,006516
290	0,006806	1,135789	0,006716
300	0,007006	1,204952	0,006916

310	0,007207	1,276116	0,007116
320	0,007407	1,349282	0,007317
330	0,007607	1,424451	0,007517
340	0,007807	1,501622	0,007717
350	0,008007	1,580795	0,007917
360	0,008208	1,661969	0,008117
370	0,008408	1,745146	0,008318
380	0,008608	1,830326	0,008518
390	0,008808	1,917507	0,008718
400	0,009008	2,00669	0,008918
410	0,009209	2,097876	0,009119
420	0,009409	2,191063	0,009319
430	0,009609	2,286253	0,009519
440	0,009809	2,383445	0,009719
450	0,010009	2,482639	0,009919
460	0,01021	2,583835	0,01012
470	0,01041	2,687033	0,01032
480	0,01061	2,792233	0,01052
490	0,01081	2,899435	0,01072
500	0,011011	3,00864	0,01092
510	0,011211	3,119846	0,011121
520	0,011411	3,233055	0,011321
530	0,011611	3,348266	0,011521
540	0,011811	3,465478	0,011721
550	0,012012	3,584693	0,011921
560	0,012212	3,70591	0,012122
570	0,012412	3,82913	0,012322
580	0,012612	3,954351	0,012522
590	0,012812	4,081574	0,012722
600	0,013013	4,2108	0,012923
610	0,013213	4,342027	0,013123
620	0,013413	4,475257	0,013323
630	0,013613	4,610489	0,013523
640	0,013813	4,747723	0,013723
650	0,014014	4,886959	0,013924

660	0,014214	5,028197	0,014124
670	0,014414	5,171437	0,014324
680	0,014614	5,31668	0,014524
690	0,014815	5,463924	0,014724
700	0,015015	5,613171	0,014925
710	0,015215	5,764419	0,015125
720	0,015415	5,91767	0,015325
730	0,015615	6,072923	0,015525
740	0,015816	6,230178	0,015726
750	0,016016	6,389435	0,015926
760	0,016216	6,550694	0,016126
770	0,016416	6,713956	0,016326
780	0,016616	6,879219	0,016526
790	0,016817	7,046485	0,016727
800	0,017017	7,215752	0,016927
810	0,017217	7,387022	0,017127
820	0,017417	7,560294	0,017327
830	0,017617	7,735568	0,017527
840	0,017818	7,912844	0,017728
850	0,018018	8,092122	0,017928
860	0,018218	8,273403	0,018128
870	0,018418	8,456685	0,018328
880	0,018619	8,641969	0,018528
890	0,018819	8,829256	0,018729
900	0,019019	9,018545	0,018929
910	0,019219	9,209836	0,019129
920	0,019419	9,403129	0,019329
930	0,01962	9,598424	0,01953
940	0,01982	9,795721	0,01973
950	0,02	9,995	0,019928
960	0,0198	10,1939	0,01989
970	0,0196	10,3908	0,01969
980	0,0194	10,5857	0,01949
990	0,0192	10,7786	0,01929
1000	0,019	10,9695	0,01909
1010	0,0188	11,1584	0,01889
1020	0,0186	11,3453	0,01869
1030	0,0184	11,5302	0,01849
1040	0,0182	11,7131	0,01829
1050	0,018	11,894	0,01809
1060	0,0178	12,0729	0,01789
1070	0,0176	12,2498	0,01769
1080	0,0174	12,4247	0,01749
1090	0,0172	12,5976	0,01729
1100	0,017	12,7685	0,01709
1110	0,0168	12,9374	0,01689
1120	0,0166	13,1043	0,01669
1130	0,0164	13,2692	0,01649

1140	0,0162	13,4321	0,01629
1150	0,016	13,593	0,01609
1160	0,0158	13,7519	0,01589
1170	0,0156	13,9088	0,01569
1180	0,0154	14,0637	0,01549
1190	0,0152	14,2166	0,01529
1200	0,015	14,3675	0,01509
1210	0,0148	14,5164	0,01489
1220	0,0146	14,6633	0,01469
1230	0,0144	14,8082	0,01449
1240	0,0142	14,9511	0,01429
1250	0,014	15,092	0,01409
1260	0,0138	15,2309	0,01389
1270	0,0136	15,3678	0,01369
1280	0,0134	15,5027	0,01349
1290	0,0132	15,6356	0,01329
1300	0,013	15,7665	0,01309
1310	0,0128	15,8954	0,01289
1320	0,0126	16,0223	0,01269
1330	0,0124	16,1472	0,01249
1340	0,0122	16,2701	0,01229
1350	0,012	16,391	0,01209
1360	0,0118	16,5099	0,01189
1370	0,0116	16,6268	0,01169
1380	0,0114	16,7417	0,01149
1390	0,0112	16,8546	0,01129
1400	0,011	16,9655	0,01109
1410	0,0108	17,0744	0,01089
1420	0,0106	17,1813	0,01069
1430	0,0104	17,2862	0,01049
1440	0,0102	17,3891	0,01029
1450	0,01	17,49	0,01009
1460	0,0098	17,5889	0,00989
1470	0,0096	17,6858	0,00969
1480	0,0094	17,7807	0,00949
1490	0,0092	17,8736	0,00929
1500	0,009	17,9645	0,00909
1510	0,0088	18,0534	0,00889
1520	0,0086	18,1403	0,00869
1530	0,0084	18,2252	0,00849
1540	0,0082	18,3081	0,00829
1550	0,008	18,389	0,00809
1560	0,0078	18,4679	0,00789
1570	0,0076	18,5448	0,00769
1580	0,0074	18,6197	0,00749
1590	0,0072	18,6926	0,00729
1600	0,007	18,7635	0,00709
1610	0,0068	18,8324	0,00689

1620	0,0066	18,8993	0,00669
1630	0,0064	18,9642	0,00649
1640	0,0062	19,0271	0,00629
1650	0,006	19,088	0,00609
1660	0,0058	19,1469	0,00589
1670	0,0056	19,2038	0,00569
1680	0,0054	19,2587	0,00549
1690	0,0052	19,3116	0,00529
1700	0,005	19,3625	0,00509
1710	0,0048	19,4114	0,00489
1720	0,0046	19,4583	0,00469
1730	0,0044	19,5032	0,00449
1740	0,0042	19,5461	0,00429
1750	0,004	19,587	0,00409
1760	0,0038	19,6259	0,00389

1770	0,0036	19,6628	0,00369
1780	0,0034	19,6977	0,00349
1790	0,0032	19,7306	0,00329
1800	0,003	19,7615	0,00309
1810	0,0028	19,7904	0,00289
1820	0,0026	19,8173	0,00269
1830	0,0024	19,8422	0,00249
1840	0,0022	19,8651	0,00229
1850	0,002	19,886	0,00209
1860	0,0018	19,9049	0,00189
1870	0,0016	19,9218	0,00169
1880	0,0014	19,9367	0,00149
1890	0,0012	19,9496	0,00129
1899	0,00102	19,9595	0,00099

Таблиця А.16. Градувальна таблиця РГС-45 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,002381	
10	0,026753	0,002437
20	0,052161	0,002541
30	0,078637	0,002648
40	0,106214	0,002758
50	0,134926	0,002871
60	0,164805	0,002988
70	0,195886	0,003108
80	0,228203	0,003232
90	0,261789	0,003359
100	0,296679	0,003489
110	0,332908	0,003623
120	0,37051	0,00376
130	0,40952	0,003901
140	0,449973	0,004045
150	0,491904	0,004193
160	0,535347	0,004344
170	0,580337	0,004499
180	0,626909	0,004657
190	0,675096	0,004819
200	0,724933	0,004984
210	0,776453	0,005152
220	0,82969	0,005324
230	0,884676	0,005499

240	0,941443	0,005677
250	1,000024	0,005858
260	1,06045	0,006043
270	1,122751	0,00623
280	1,186956	0,006421
290	1,253095	0,006614
300	1,321196	0,00681
310	1,391285	0,007009
320	1,46339	0,00721
330	1,537534	0,007414
340	1,613742	0,007621
350	1,692037	0,00783
360	1,772441	0,00804
370	1,854972	0,008253
380	1,939651	0,008468
390	2,026494	0,008684
400	2,115517	0,008902
410	2,206736	0,009122
420	2,300161	0,009343
430	2,395805	0,009564
440	2,493677	0,009787
450	2,593783	0,010011
460	2,696131	0,010235
470	2,800723	0,010459
480	2,907562	0,010684
490	3,016647	0,010909
500	3,127976	0,011133
510	3,241546	0,011357

520	3,357349	0,01158
530	3,475378	0,011803
540	3,595622	0,012024
550	3,718068	0,012245
560	3,842701	0,012463
570	3,969504	0,01268
580	4,098458	0,012895
590	4,229542	0,013108
600	4,362731	0,013319
610	4,497998	0,013527
620	4,635317	0,013732
630	4,774655	0,013934
640	4,915981	0,014133
650	5,059258	0,014328
660	5,20445	0,014519
670	5,351517	0,014707
680	5,500417	0,01489
690	5,651106	0,015069
700	5,803539	0,015243
710	5,957666	0,015413
720	6,113437	0,015577
730	6,270802	0,015736
740	6,429705	0,01589
750	6,590089	0,016038
760	6,751899	0,016181
770	6,915073	0,016317
780	7,07955	0,016448
790	7,245268	0,016572
800	7,412161	0,016689
810	7,580163	0,0168
820	7,749208	0,016904
830	7,919226	0,017002
840	8,090146	0,017092
850	8,261898	0,017175
860	8,434409	0,017251
870	8,607605	0,01732
880	8,781413	0,017381
890	8,955757	0,017434
900	9,130562	0,01748
910	9,30575	0,017519
920	9,481245	0,01755
930	9,65697	0,017572
940	9,832847	0,017588
950	10,0088	0,017595
960	10,18475	0,017595
970	10,36061	0,017587
980	10,53632	0,017571
990	10,71178	0,017547

1000	10,88694	0,017515
1010	11,0617	0,017476
1020	11,23599	0,017429
1030	11,40974	0,017375
1040	11,58287	0,017313
1050	11,75531	0,017244
1060	11,92698	0,017167
1070	12,09782	0,017083
1080	12,26774	0,016992
1090	12,43668	0,016894
1100	12,60458	0,016789
1110	12,77136	0,016678
1120	12,93695	0,01656
1130	13,1013	0,016435
1140	13,26434	0,016304
1150	13,42601	0,016167
1160	13,58625	0,016024
1170	13,745	0,015875
1180	13,90221	0,015721
1190	14,05782	0,015561
1200	14,21178	0,015396
1210	14,36404	0,015226
1220	14,51455	0,015051
1230	14,66327	0,014872
1240	14,81015	0,014688
1250	14,95516	0,0145
1260	15,09824	0,014308
1270	15,23937	0,014113
1280	15,37851	0,013914
1290	15,51562	0,013711
1300	15,65068	0,013506
1310	15,78366	0,013298
1320	15,91453	0,013087
1330	16,04327	0,012874
1340	16,16986	0,012659
1350	16,29428	0,012442
1360	16,4165	0,012223
1370	16,53652	0,012002
1380	16,65433	0,011781
1390	16,76991	0,011558
1400	16,88326	0,011335
1410	16,99436	0,011111
1420	17,10322	0,010886
1430	17,20984	0,010661
1440	17,3142	0,010437
1450	17,41633	0,010212
1460	17,51621	0,009988
1470	17,61386	0,009765

1480	17,70928	0,009542
1490	17,80249	0,00932
1500	17,89348	0,0091
1510	17,98229	0,00888
1520	18,06891	0,008663
1530	18,15338	0,008446
1540	18,2357	0,008232
1550	18,31589	0,008019
1560	18,39397	0,007809
1570	18,46997	0,0076
1580	18,54391	0,007394
1590	18,61581	0,00719
1600	18,6857	0,006989
1610	18,75361	0,00679
1620	18,81955	0,006594
1630	18,88356	0,006401
1640	18,94568	0,006211

1650	19,00592	0,006024
1660	19,06431	0,00584
1670	19,1209	0,005659
1680	19,17571	0,005481
1690	19,22878	0,005306
1700	19,28013	0,005135
1710	19,3298	0,004967
1720	19,37782	0,004802
1730	19,42423	0,004641
1740	19,46907	0,004483
1750	19,51236	0,004329
1760	19,55414	0,004178
1770	19,59445	0,004031
1780	19,63331	0,003887
1790	19,67078	0,003746
1800	19,70687	0,003609
1887	19,73825	0,003138

Таблиця А.17. Градувальна таблиця РГС-60 розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення. Мм	Об'єм сегменту (м ³)	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,01	0,004165	
10	0,010584	0,047152	0,004299
20	0,011168	0,09257	0,004542
30	0,011751	0,14042	0,004785
40	0,012335	0,190701	0,005028
50	0,012919	0,243414	0,005271
60	0,013503	0,298559	0,005514
70	0,014087	0,356135	0,005758
80	0,014671	0,416142	0,006001
90	0,015254	0,478582	0,006244
100	0,015838	0,543452	0,006487
110	0,016422	0,610755	0,00673
120	0,017006	0,680489	0,006973
130	0,01759	0,752654	0,007217
140	0,018173	0,827251	0,00746
150	0,018757	0,90428	0,007703
160	0,019341	0,98374	0,007946
170	0,019925	1,065632	0,008189
180	0,020509	1,149955	0,008432
190	0,021093	1,23671	0,008675
200	0,021676	1,325897	0,008919
210	0,02226	1,417515	0,009162

220	0,022844	1,511564	0,009405
230	0,023428	1,608046	0,009648
240	0,024012	1,706958	0,009891
250	0,024595	1,808303	0,010134
260	0,025179	1,912079	0,010378
270	0,025763	2,018286	0,010621
280	0,026347	2,126925	0,010864
290	0,026931	2,237996	0,011107
300	0,027515	2,351498	0,01135
310	0,028098	2,467432	0,011593
320	0,028682	2,585797	0,011837
330	0,029266	2,706594	0,01208
340	0,02985	2,829822	0,012323
350	0,030434	2,955482	0,012566
360	0,031018	3,083574	0,012809
370	0,031601	3,214097	0,013052
380	0,032185	3,347052	0,013295
390	0,032769	3,482438	0,013539
400	0,033353	3,620256	0,013782
410	0,033937	3,760506	0,014025
420	0,03452	3,903187	0,014268
430	0,035104	4,048299	0,014511
440	0,035688	4,195843	0,014754
450	0,036272	4,345819	0,014998
460	0,036856	4,498227	0,015241
470	0,03744	4,653065	0,015484

480	0,038023	4,810336	0,015727
490	0,038607	4,970038	0,01597
500	0,039191	5,132171	0,016213
510	0,039775	5,296737	0,016457
520	0,040359	5,463733	0,0167
530	0,040942	5,633162	0,016943
540	0,041526	5,805021	0,017186
550	0,04211	5,979313	0,017429
560	0,042694	6,156036	0,017672
570	0,043278	6,33519	0,017915
580	0,043862	6,516777	0,018159
590	0,044445	6,700794	0,018402
600	0,045029	6,887244	0,018645
610	0,045613	7,076124	0,018888
620	0,046197	7,267437	0,019131
630	0,046781	7,461181	0,019374
640	0,047364	7,657356	0,019618
650	0,047948	7,855964	0,019861
660	0,048532	8,057002	0,020104
670	0,049116	8,260473	0,020347
680	0,0497	8,466374	0,02059
690	0,050284	8,674708	0,020833
700	0,050867	8,885473	0,021076
710	0,051451	9,098669	0,02132
720	0,052035	9,314297	0,021563
730	0,052619	9,532357	0,021806
740	0,053203	9,752848	0,022049
750	0,053786	9,975771	0,022292
760	0,05437	10,20113	0,022535
770	0,054954	10,42891	0,022779
780	0,055538	10,65913	0,023022
790	0,056122	10,89178	0,023265
800	0,056706	11,12686	0,023508
810	0,057289	11,36437	0,023751
820	0,057873	11,60431	0,023994
830	0,058457	11,84669	0,024238
840	0,059041	12,0915	0,024481
850	0,059625	12,33874	0,024724
860	0,060209	12,58841	0,024967
870	0,060792	12,84051	0,02521
880	0,061376	13,09504	0,025453
890	0,06196	13,35201	0,025696
900	0,062544	13,6114	0,02594
910	0,063128	13,87323	0,026183
920	0,063711	14,13749	0,026426
930	0,064295	14,40418	0,026669
940	0,064879	14,6733	0,026912
950	0,065463	14,94486	0,027155

960	0,066047	15,21884	0,027399
970	0,066631	15,49526	0,027642
980	0,067214	15,77411	0,027885
990	0,067798	16,05539	0,028128
1000	0,068382	16,3391	0,028371
1010	0,068966	16,62525	0,028614
1020	0,06955	16,91382	0,028858
1030	0,070133	17,20483	0,029101
1040	0,070717	17,49827	0,029344
1050	0,071301	17,79414	0,029587
1060	0,071885	18,09244	0,02983
1070	0,072469	18,39317	0,030073
1080	0,073053	18,69633	0,030316
1090	0,073636	19,00193	0,03056
1100	0,07422	19,30996	0,030803
1110	0,074804	19,62042	0,031046
1120	0,075388	19,93331	0,031289
1130	0,075972	20,24863	0,031532
1140	0,076555	20,56639	0,031775
1150	0,077139	20,88657	0,032019
1160	0,077723	21,20919	0,032262
1170	0,078307	21,53424	0,032505
1180	0,078891	21,86172	0,032748
1190	0,079475	22,19163	0,032991
1200	0,08	22,52395	0,033232
1210	0,079417	22,85581	0,033186
1220	0,078833	23,18524	0,032943
1230	0,07825	23,51223	0,0327
1240	0,077667	23,8368	0,032457
1250	0,077083	24,15894	0,032214
1260	0,0765	24,47865	0,031971
1270	0,075917	24,79594	0,031728
1280	0,075333	25,11079	0,031485
1290	0,07475	25,42321	0,031242
1300	0,074167	25,7332	0,030999
1310	0,073583	26,04076	0,030756
1320	0,073	26,3459	0,030513
1330	0,072417	26,6486	0,03027
1340	0,071833	26,94888	0,030027
1350	0,07125	27,24672	0,029784
1360	0,070667	27,54214	0,029542
1370	0,070083	27,83512	0,029299
1380	0,0695	28,12568	0,029056
1390	0,068917	28,4138	0,028813
1400	0,068333	28,6995	0,02857
1410	0,06775	28,98277	0,028327
1420	0,067167	29,26361	0,028084
1430	0,066583	29,54201	0,027841

1440	0,066	29,81799	0,027598
1450	0,065417	30,09154	0,027355
1460	0,064833	30,36266	0,027112
1470	0,06425	30,63135	0,026869
1480	0,063667	30,89761	0,026626
1490	0,063083	31,16144	0,026383
1500	0,0625	31,42284	0,02614
1510	0,061917	31,68182	0,025897
1520	0,061333	31,93836	0,025654
1530	0,06075	32,19247	0,025411
1540	0,060167	32,44416	0,025168
1550	0,059583	32,69341	0,024925
1560	0,059	32,94023	0,024682
1570	0,058417	33,18463	0,024439
1580	0,057833	33,42659	0,024197
1590	0,05725	33,66613	0,023954
1600	0,056667	33,90323	0,023711
1610	0,056083	34,13791	0,023468
1620	0,0555	34,37016	0,023225
1630	0,054917	34,59998	0,022982
1640	0,054333	34,82736	0,022739
1650	0,05375	35,05232	0,022496
1660	0,053167	35,27485	0,022253
1670	0,052583	35,49495	0,02201
1680	0,052	35,71262	0,021767
1690	0,051417	35,92786	0,021524
1700	0,050833	36,14067	0,021281
1710	0,05025	36,35105	0,021038
1720	0,049667	36,559	0,020795
1730	0,049083	36,76453	0,020552
1740	0,0485	36,96762	0,020309
1750	0,047917	37,16828	0,020066
1760	0,047333	37,36651	0,019823
1770	0,04675	37,56232	0,01958
1780	0,046167	37,75569	0,019337
1790	0,045583	37,94664	0,019094
1800	0,045	38,13515	0,018852
1810	0,044417	38,32124	0,018609
1820	0,043833	38,50489	0,018366
1830	0,04325	38,68612	0,018123
1840	0,042667	38,86492	0,01788
1850	0,042083	39,04128	0,017637
1860	0,0415	39,21522	0,017394
1870	0,040917	39,38673	0,017151
1880	0,040333	39,55581	0,016908
1890	0,03975	39,72246	0,016665
1900	0,039167	39,88668	0,016422
1910	0,038583	40,04847	0,016179

1920	0,038	40,20783	0,015936
1930	0,037417	40,36476	0,015693
1940	0,036833	40,51926	0,01545
1950	0,03625	40,67133	0,015207
1960	0,035667	40,82098	0,014964
1970	0,035083	40,96819	0,014721
1980	0,0345	41,11297	0,014478
1990	0,033917	41,25533	0,014235
2000	0,033333	41,39525	0,013992
2010	0,03275	41,53275	0,013749
2020	0,032167	41,66781	0,013507
2030	0,031583	41,80045	0,013264
2040	0,031	41,93065	0,013021
2050	0,030417	42,05843	0,012778
2060	0,029833	42,18378	0,012535
2070	0,02925	42,3067	0,012292
2080	0,028667	42,42718	0,012049
2090	0,028083	42,54524	0,011806
2100	0,0275	42,66087	0,011563
2110	0,026917	42,77407	0,01132
2120	0,026333	42,88484	0,011077
2130	0,02575	42,99318	0,010834
2140	0,025167	43,09909	0,010591
2150	0,024583	43,20257	0,010348
2160	0,024	43,30362	0,010105
2170	0,023417	43,40225	0,009862
2180	0,022833	43,49844	0,009619
2190	0,02225	43,5922	0,009376
2200	0,021667	43,68353	0,009133
2210	0,021083	43,77244	0,00889
2220	0,0205	43,85891	0,008647
2230	0,019917	43,94296	0,008404
2240	0,019333	44,02457	0,008162
2250	0,01875	44,10376	0,007919
2260	0,018167	44,18052	0,007676
2270	0,017583	44,25484	0,007433
2280	0,017	44,32674	0,00719
2290	0,016417	44,39621	0,006947
2300	0,015833	44,46324	0,006704
2310	0,01525	44,52785	0,006461
2320	0,014667	44,59003	0,006218
2330	0,014083	44,64978	0,005975
2340	0,0135	44,7071	0,005732
2350	0,012917	44,76199	0,005489
2360	0,012333	44,81445	0,005246
2370	0,01175	44,86448	0,005003
2380	0,011167	44,91209	0,00476
2390	0,010583	44,95726	0,004517

2396	0,010233	44,98319	0,002594
------	----------	----------	----------

Таблиця А.18. Градувальна таблиця РГС-60 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м3 /мм
0	0,001827	
10	0,021725	0,00199
20	0,044588	0,002286
30	0,070414	0,002583
40	0,099205	0,002879
50	0,13096	0,003175
60	0,165679	0,003472
70	0,203362	0,003768
80	0,244009	0,004065
90	0,28762	0,004361
100	0,334195	0,004658
110	0,383735	0,004954
120	0,436238	0,00525
130	0,491706	0,005547
140	0,550137	0,005843
150	0,611533	0,00614
160	0,675893	0,006436
170	0,743217	0,006732
180	0,813505	0,007029
190	0,886757	0,007325
200	0,962973	0,007622
210	1,042153	0,007918
220	1,124298	0,008214
230	1,209406	0,008511
240	1,297479	0,008807
250	1,388516	0,009104
260	1,482516	0,0094
270	1,579481	0,009696
280	1,67941	0,009993
290	1,782303	0,010289
300	1,88816	0,010586
310	1,996982	0,010882
320	2,108767	0,011179
330	2,223516	0,011475
340	2,34123	0,011771
350	2,461907	0,012068
360	2,585549	0,012364

370	2,712155	0,012661
380	2,841725	0,012957
390	2,974259	0,013253
400	3,109757	0,01355
410	3,248219	0,013846
420	3,389645	0,014143
430	3,534036	0,014439
440	3,68139	0,014735
450	3,831709	0,015032
460	3,984991	0,015328
470	4,141238	0,015625
480	4,300449	0,015921
490	4,462624	0,016217
500	4,627763	0,016514
510	4,795866	0,01681
520	4,966933	0,017107
530	5,140964	0,017403
540	5,31796	0,0177
550	5,497919	0,017996
560	5,680843	0,018292
570	5,866731	0,018589
580	6,055582	0,018885
590	6,247398	0,019182
600	6,442178	0,019478
610	6,639922	0,019774
620	6,84063	0,020071
630	7,044303	0,020367
640	7,250939	0,020664
650	7,460539	0,02096
660	7,673104	0,021256
670	7,888632	0,021553
680	8,107125	0,021849
690	8,328582	0,022146
700	8,553003	0,022442
710	8,780388	0,022738
720	9,010737	0,023035
730	9,24405	0,023331
740	9,480327	0,023628
750	9,719569	0,023924
760	9,961774	0,024221
770	10,20694	0,024517

780	10,45508	0,024813
790	10,70618	0,02511
800	10,96024	0,025406
810	11,21726	0,025703
820	11,47725	0,025999
830	11,74021	0,026295
840	12,00613	0,026592
850	12,27501	0,026888
860	12,54685	0,027185
870	12,82166	0,027481
880	13,09944	0,027777
890	13,38018	0,028074
900	13,66388	0,02837
910	13,95055	0,028667
920	14,24018	0,028963
930	14,53277	0,02926
940	14,82833	0,029556
950	15,12686	0,029852
960	15,42834	0,030149
970	15,73279	0,030445
980	16,04021	0,030742
990	16,35059	0,031038
1000	16,66393	0,031334
1010	16,98024	0,031631
1020	17,29951	0,031927
1030	17,62175	0,032224
1040	17,94695	0,03252
1050	18,27511	0,032816
1060	18,60624	0,033113
1070	18,94033	0,033409
1080	19,27739	0,033706
1090	19,61741	0,034002
1100	19,9604	0,034298
1110	20,30634	0,034595
1120	20,65526	0,034891
1130	21,00713	0,035188
1140	21,36197	0,035484
1150	21,71978	0,035781
1160	22,08055	0,036077
1170	22,44428	0,036373
1180	22,80858	0,03643
1190	23,16995	0,036137
1200	23,52836	0,035841
1210	23,88381	0,035545
1220	24,2363	0,035249
1230	24,58583	0,034953
1240	24,93241	0,034657
1250	25,27602	0,034361

1260	25,61668	0,034066
1270	25,95437	0,03377
1280	26,28911	0,033474
1290	26,62089	0,033178
1300	26,94971	0,032882
1310	27,27557	0,032586
1320	27,59847	0,03229
1330	27,91841	0,031994
1340	28,2354	0,031698
1350	28,54942	0,031402
1360	28,86049	0,031107
1370	29,16859	0,030811
1380	29,47374	0,030515
1390	29,77593	0,030219
1400	30,07516	0,029923
1410	30,37143	0,029627
1420	30,66474	0,029331
1430	30,95509	0,029035
1440	31,24248	0,028739
1450	31,52692	0,028443
1460	31,80839	0,028147
1470	32,08691	0,027852
1480	32,36246	0,027556
1490	32,63506	0,02726
1500	32,9047	0,026964
1510	33,17138	0,026668
1520	33,4351	0,026372
1530	33,69586	0,026076
1540	33,95366	0,02578
1550	34,20851	0,025484
1560	34,46039	0,025188
1570	34,70932	0,024893
1580	34,95528	0,024597
1590	35,19829	0,024301
1600	35,43834	0,024005
1610	35,67543	0,023709
1620	35,90956	0,023413
1630	36,14073	0,023117
1640	36,36894	0,022821
1650	36,59419	0,022525
1660	36,81649	0,022229
1670	37,03582	0,021933
1680	37,2522	0,021638
1690	37,46562	0,021342
1700	37,67607	0,021046
1710	37,88357	0,02075
1720	38,08811	0,020454
1730	38,28969	0,020158

1740	38,48831	0,019862
1750	38,68398	0,019566
1760	38,87668	0,01927
1770	39,06642	0,018974
1780	39,25321	0,018679
1790	39,43704	0,018383
1800	39,6179	0,018087
1810	39,79581	0,017791
1820	39,97076	0,017495
1830	40,14275	0,017199
1840	40,31178	0,016903
1850	40,47786	0,016607
1860	40,64097	0,016311
1870	40,80112	0,016015
1880	40,95832	0,01572
1890	41,11255	0,015424
1900	41,26383	0,015128
1910	41,41215	0,014832
1920	41,55751	0,014536
1930	41,69991	0,01424
1940	41,83935	0,013944
1950	41,97583	0,013648
1960	42,10935	0,013352
1970	42,23992	0,013056
1980	42,36752	0,01276
1990	42,49217	0,012465
2000	42,61385	0,012169
2010	42,73258	0,011873
2020	42,84835	0,011577
2030	42,96116	0,011281
2040	43,07101	0,010985

2050	43,1779	0,010689
2060	43,28183	0,010393
2070	43,38281	0,010097
2080	43,48082	0,009801
2090	43,57588	0,009506
2100	43,66797	0,00921
2110	43,75711	0,008914
2120	43,84329	0,008618
2130	43,92651	0,008322
2140	44,00677	0,008026
2150	44,08407	0,00773
2160	44,15841	0,007434
2170	44,22979	0,007138
2180	44,29822	0,006842
2190	44,36368	0,006546
2200	44,42619	0,006251
2210	44,48573	0,005955
2220	44,54232	0,005659
2230	44,59595	0,005363
2240	44,64662	0,005067
2250	44,69433	0,004771
2260	44,73908	0,004475
2270	44,78088	0,004179
2280	44,81971	0,003883
2290	44,85558	0,003587
2300	44,8885	0,003292
2310	44,91846	0,002996
2320	44,94545	0,0027
2330	44,96949	0,002404
2340	44,99057	0,002108
2343	44,99632	0,000575

Таблиця А.17. Градувальна таблиця РГС-60 розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення. Мм	Об'єм сегменту (м ³)	Місткість (м ³)	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,01	1,53E-05	
10	0,247471	0,002167	0,000215
20	0,484943	0,007953	0,000579
30	0,722414	0,017373	0,000942
40	0,959885	0,030427	0,001305
50	1,197356	0,047115	0,001669
60	1,434828	0,067437	0,002032
70	1,672299	0,091393	0,002396

80	1,90977	0,118983	0,002759
90	2,147241	0,150207	0,003122
100	2,384713	0,185065	0,003486
110	2,622184	0,223558	0,003849
120	2,859655	0,265684	0,004213
130	3,097126	0,311445	0,004576
140	3,334598	0,360839	0,004939
150	3,572069	0,413868	0,005303
160	3,80954	0,47053	0,005666
170	4,047011	0,530827	0,00603
180	4,284483	0,594758	0,006393
190	4,521954	0,662322	0,006756

200	4,759425	0,733521	0,00712	680	16,15805	8,424714	0,024563
210	4,996897	0,808354	0,007483	690	16,39552	8,673981	0,024927
220	5,234368	0,886821	0,007847	700	16,63299	8,926883	0,02529
230	5,471839	0,968922	0,00821	710	16,87046	9,183419	0,025654
240	5,70931	1,054657	0,008574	720	17,10793	9,443588	0,026017
250	5,946782	1,144026	0,008937	730	17,3454	9,707392	0,02638
260	6,184253	1,237029	0,0093	740	17,58287	9,97483	0,026744
270	6,421724	1,333666	0,009664	750	17,82034	10,2459	0,027107
280	6,659195	1,433938	0,010027	760	18,05782	10,52061	0,027471
290	6,896667	1,537843	0,010391	770	18,29529	10,79895	0,027834
300	7,134138	1,645382	0,010754	780	18,53276	11,08092	0,028197
310	7,371609	1,756556	0,011117	790	18,77023	11,36653	0,028561
320	7,60908	1,871363	0,011481	800	19,0077	11,65577	0,028924
330	7,846552	1,989805	0,011844	810	19,24517	11,94865	0,029288
340	8,084023	2,11188	0,012208	820	19,48264	12,24516	0,029651
350	8,321494	2,23759	0,012571	830	19,72011	12,5453	0,030014
360	8,558966	2,366934	0,012934	840	19,95759	12,84908	0,030378
370	8,796437	2,499912	0,013298	850	20,19506	13,15649	0,030741
380	9,033908	2,636523	0,013661	860	20,43253	13,46754	0,031105
390	9,271379	2,776769	0,014025	870	20,67	13,78222	0,031468
400	9,508851	2,920649	0,014388	880	20,90747	14,10054	0,031831
410	9,746322	3,068163	0,014751	890	21,14494	14,42248	0,032195
420	9,983793	3,219311	0,015115	900	21,38241	14,74807	0,032558
430	10,22126	3,374093	0,015478	910	21,61989	15,07728	0,032922
440	10,45874	3,532509	0,015842	920	21,85736	15,41013	0,033285
450	10,69621	3,69456	0,016205	930	22,09483	15,74662	0,033648
460	10,93368	3,860244	0,016568	940	22,3323	16,08674	0,034012
470	11,17115	4,029562	0,016932	950	22,56977	16,43049	0,034375
480	11,40862	4,202515	0,017295	960	22,80724	16,77788	0,034739
490	11,64609	4,379101	0,017659	970	23,04471	17,1289	0,035102
500	11,88356	4,559322	0,018022	980	23,28218	17,48355	0,035466
510	12,12103	4,743176	0,018385	990	23,51966	17,84184	0,035829
520	12,35851	4,930665	0,018749	1000	23,75713	18,20377	0,036192
530	12,59598	5,121787	0,019112	1010	23,9946	18,56932	0,036556
540	12,83345	5,316544	0,019476	1020	24,23207	18,93852	0,036919
550	13,07092	5,514935	0,019839	1030	24,46954	19,31134	0,037283
560	13,30839	5,71696	0,020202	1040	24,70701	19,6878	0,037646
570	13,54586	5,922619	0,020566	1050	24,94448	20,06789	0,038009
580	13,78333	6,131911	0,020929	1060	25,18195	20,45162	0,038373
590	14,0208	6,344838	0,021293	1070	25,41943	20,83898	0,038736
600	14,25828	6,5614	0,021656	1080	25,6569	21,22998	0,0391
610	14,49575	6,781595	0,02202	1090	25,89437	21,62461	0,039463
620	14,73322	7,005424	0,022383	1100	26,13184	22,02287	0,039826
630	14,97069	7,232887	0,022746	1110	26,36931	22,42477	0,04019
640	15,20816	7,463984	0,02311	1120	26,60678	22,8303	0,040553
650	15,44563	7,698716	0,023473	1130	26,84425	23,23947	0,040917
660	15,6831	7,937081	0,023837	1140	27,08172	23,65227	0,04128
670	15,92057	8,17908	0,0242	1150	27,3192	24,0687	0,041643

1160	27,55667	24,48877	0,042007
1170	27,79414	24,91247	0,04237
1180	28,03161	25,33981	0,042734
1190	28,26908	25,77078	0,043097
1200	28,50655	26,20538	0,04346
1210	28,74402	26,64362	0,043824
1220	28,98149	27,0855	0,044187
1230	29,21897	27,531	0,044551
1240	29,45644	27,98014	0,044914
1250	29,69391	28,43292	0,045277
1260	29,93138	28,88933	0,045641
1270	30,16885	29,34937	0,046004
1280	30,40632	29,81305	0,046368
1290	30,64379	30,28036	0,046731
1300	30,88126	30,7513	0,047094
1310	30,90508	31,22497	0,047367
1320	30,66779	31,69592	0,047095
1330	30,43051	32,16324	0,046732
1340	30,19322	32,62692	0,046369
1350	29,95593	33,08697	0,046005
1360	29,71864	33,5434	0,045642
1370	29,48135	33,99619	0,045279
1380	29,24406	34,44535	0,044916
1390	29,00677	34,89088	0,044553
1400	28,76948	35,33277	0,04419
1410	28,53219	35,77104	0,043827
1420	28,2949	36,20568	0,043463
1430	28,05761	36,63668	0,0431
1440	27,82032	37,06405	0,042737
1450	27,58303	37,48779	0,042374
1460	27,34574	37,9079	0,042011
1470	27,10845	38,32438	0,041648
1480	26,87116	38,73723	0,041285
1490	26,63387	39,14644	0,040922
1500	26,39658	39,55203	0,040558
1510	26,1593	39,95398	0,040195
1520	25,92201	40,3523	0,039832
1530	25,68472	40,74699	0,039469
1540	25,44743	41,13805	0,039106
1550	25,21014	41,52548	0,038743
1560	24,97285	41,90928	0,03838
1570	24,73556	42,28945	0,038017
1580	24,49827	42,66598	0,037653
1590	24,26098	43,03888	0,03729
1600	24,02369	43,40815	0,036927
1610	23,7864	43,7738	0,036564
1620	23,54911	44,1358	0,036201
1630	23,31182	44,49418	0,035838

1640	23,07453	44,84893	0,035475
1650	22,83724	45,20005	0,035112
1660	22,59995	45,54753	0,034748
1670	22,36266	45,89138	0,034385
1680	22,12538	46,2316	0,034022
1690	21,88809	46,5682	0,033659
1700	21,6508	46,90115	0,033296
1710	21,41351	47,23048	0,032933
1720	21,17622	47,55618	0,03257
1730	20,93893	47,87824	0,032207
1740	20,70164	48,19668	0,031843
1750	20,46435	48,51148	0,03148
1760	20,22706	48,82265	0,031117
1770	19,98977	49,13019	0,030754
1780	19,75248	49,4341	0,030391
1790	19,51519	49,73438	0,030028
1800	19,2779	50,03103	0,029665
1810	19,04061	50,32404	0,029302
1820	18,80332	50,61343	0,028938
1830	18,56603	50,89918	0,028575
1840	18,32874	51,1813	0,028212
1850	18,09145	51,45979	0,027849
1860	17,85417	51,73465	0,027486
1870	17,61688	52,00588	0,027123
1880	17,37959	52,27347	0,02676
1890	17,1423	52,53744	0,026397
1900	16,90501	52,79777	0,026033
1910	16,66772	53,05447	0,02567
1920	16,43043	53,30754	0,025307
1930	16,19314	53,55698	0,024944
1940	15,95585	53,80279	0,024581
1950	15,71856	54,04497	0,024218
1960	15,48127	54,28352	0,023855
1970	15,24398	54,51843	0,023491
1980	15,00669	54,74972	0,023128
1990	14,7694	54,97737	0,022765
2000	14,53211	55,20139	0,022402
2010	14,29482	55,42178	0,022039
2020	14,05753	55,63854	0,021676
2030	13,82025	55,85166	0,021313
2040	13,58296	56,06116	0,02095
2050	13,34567	56,26702	0,020586
2060	13,10838	56,46926	0,020223
2070	12,87109	56,66786	0,01986
2080	12,6338	56,86283	0,019497
2090	12,39651	57,05417	0,019134
2100	12,15922	57,24188	0,018771
2110	11,92193	57,42596	0,018408

2120	11,68464	57,6064	0,018045
2130	11,44735	57,78322	0,017681
2140	11,21006	57,9564	0,017318
2150	10,97277	58,12595	0,016955
2160	10,73548	58,29187	0,016592
2170	10,49819	58,45416	0,016229
2180	10,2609	58,61282	0,015866
2190	10,02361	58,76785	0,015503
2200	9,786325	58,91924	0,01514
2210	9,549035	59,06701	0,014776
2220	9,311746	59,21114	0,014413
2230	9,074456	59,35164	0,01405
2240	8,837167	59,48851	0,013687
2250	8,599877	59,62175	0,013324
2260	8,362588	59,75136	0,012961
2270	8,125299	59,87733	0,012598
2280	7,888009	59,99968	0,012235
2290	7,65072	60,11839	0,011871
2300	7,41343	60,23348	0,011508
2310	7,176141	60,34493	0,011145
2320	6,938851	60,45275	0,010782
2330	6,701562	60,55694	0,010419
2340	6,464273	60,6575	0,010056
2350	6,226983	60,75442	0,009693
2360	5,989694	60,84772	0,00933

2370	5,752404	60,93738	0,008966
2380	5,515115	61,02341	0,008603
2390	5,277825	61,10582	0,00824
2400	5,040536	61,18459	0,007877
2410	4,803247	61,25972	0,007514
2420	4,565957	61,33123	0,007151
2430	4,328668	61,39911	0,006788
2440	4,091378	61,46335	0,006425
2450	3,854089	61,52397	0,006061
2460	3,616799	61,58095	0,005698
2470	3,37951	61,6343	0,005335
2480	3,142221	61,68402	0,004972
2490	2,904931	61,73011	0,004609
2500	2,667642	61,77257	0,004246
2510	2,430352	61,81139	0,003883
2520	2,193063	61,84659	0,003519
2530	1,955773	61,87815	0,003156
2540	1,718484	61,90608	0,002793
2550	1,481194	61,93038	0,00243
2560	1,243905	61,95105	0,002067
2570	1,006616	61,96809	0,001704
2580	0,769326	61,9815	0,001341
2590	0,532037	61,99128	0,000978
2600	0,294747	61,99742	0,000614
2610	0,057458	61,99993	0,000251

Таблиця А.18. Градувальна таблиця РГС-60 розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість (м³)	Коефіцієнт місткості, м³ / мм
0	0,000153	
10	0,003626	0,000347
20	0,010628	0,0007
30	0,021157	0,001053
40	0,035214	0,001406
50	0,0528	0,001759
60	0,073913	0,002111
70	0,098555	0,002464
80	0,126725	0,002817
90	0,158422	0,00317
100	0,193648	0,003523
110	0,232402	0,003875
120	0,274684	0,004228
130	0,320494	0,004581

140	0,369832	0,004934
150	0,422698	0,005287
160	0,479092	0,005639
170	0,539014	0,005992
180	0,602465	0,006345
190	0,669443	0,006698
200	0,739949	0,007051
210	0,813984	0,007403
220	0,891546	0,007756
230	0,972637	0,008109
240	1,057256	0,008462
250	1,145402	0,008815
260	1,237077	0,009167
270	1,33228	0,00952
280	1,431011	0,009873
290	1,53327	0,010226
300	1,639057	0,010579
310	1,748372	0,010932

320	1,861215	0,011284
330	1,977586	0,011637
340	2,097486	0,01199
350	2,220913	0,012343
360	2,347869	0,012696
370	2,478352	0,013048
380	2,612364	0,013401
390	2,749903	0,013754
400	2,890971	0,014107
410	3,035567	0,01446
420	3,18369	0,014812
430	3,335342	0,015165
440	3,490522	0,015518
450	3,64923	0,015871
460	3,811466	0,016224
470	3,977231	0,016576
480	4,146523	0,016929
490	4,319343	0,017282
500	4,495691	0,017635
510	4,675568	0,017988
520	4,858972	0,01834
530	5,045905	0,018693
540	5,236365	0,019046
550	5,430354	0,019399
560	5,627871	0,019752
570	5,828915	0,020104
580	6,033488	0,020457
590	6,241589	0,02081
600	6,453218	0,021163
610	6,668375	0,021516
620	6,88706	0,021869
630	7,109273	0,022221
640	7,335015	0,022574
650	7,564284	0,022927
660	7,797081	0,02328
670	8,033407	0,023633
680	8,27326	0,023985
690	8,516642	0,024338
700	8,763551	0,024691
710	9,013989	0,025044
720	9,267955	0,025397
730	9,525448	0,025749
740	9,78647	0,026102
750	10,05102	0,026455
760	10,3191	0,026808
770	10,5907	0,027161
780	10,86584	0,027513
790	11,1445	0,027866

800	11,42669	0,028219
810	11,71241	0,028572
820	12,00166	0,028925
830	12,29443	0,029277
840	12,59073	0,02963
850	12,89056	0,029983
860	13,19392	0,030336
870	13,50081	0,030689
880	13,81122	0,031041
890	14,12517	0,031394
900	14,44264	0,031747
910	14,76364	0,0321
920	15,08816	0,032453
930	15,41622	0,032806
940	15,7478	0,033158
950	16,08291	0,033511
960	16,42155	0,033864
970	16,76372	0,034217
980	17,10941	0,03457
990	17,45864	0,034922
1000	17,81139	0,035275
1010	18,16767	0,035628
1020	18,52748	0,035981
1030	18,89081	0,036334
1040	19,25768	0,036686
1050	19,62807	0,037039
1060	20,00199	0,037392
1070	20,37944	0,037745
1080	20,76041	0,038098
1090	21,14492	0,03845
1100	21,53295	0,038803
1110	21,92451	0,039156
1120	22,3196	0,039509
1130	22,71821	0,039862
1140	23,12036	0,040214
1150	23,52603	0,040567
1160	23,93523	0,04092
1170	24,34796	0,041273
1180	24,76422	0,041626
1190	25,184	0,041978
1200	25,60731	0,042331
1210	26,03415	0,042684
1220	26,46452	0,043037
1230	26,89842	0,04339
1240	27,33584	0,043743
1250	27,7768	0,044095
1260	28,22128	0,044448
1270	28,66929	0,044801

1280	29,12083	0,045154
1290	29,57589	0,045507
1300	30,03445	0,045856
1310	30,49234	0,045789
1320	30,9467	0,045436
1330	31,39754	0,045084
1340	31,84485	0,044731
1350	32,28864	0,044379
1360	32,7289	0,044026
1370	33,16564	0,043674
1380	33,59885	0,043321
1390	34,02854	0,042969
1400	34,4547	0,042616
1410	34,87734	0,042264
1420	35,29645	0,041911
1430	35,71203	0,041559
1440	36,12409	0,041206
1450	36,53263	0,040853
1460	36,93764	0,040501
1470	37,33912	0,040148
1480	37,73708	0,039796
1490	38,13151	0,039443
1500	38,52242	0,039091
1510	38,9098	0,038738
1520	39,29366	0,038386
1530	39,67399	0,038033
1540	40,0508	0,037681
1550	40,42408	0,037328
1560	40,79383	0,036976
1570	41,16006	0,036623
1580	41,52277	0,03627
1590	41,88195	0,035918
1600	42,2376	0,035565
1610	42,58973	0,035213
1620	42,93833	0,03486
1630	43,28341	0,034508
1640	43,62496	0,034155
1650	43,96299	0,033803
1660	44,29749	0,03345
1670	44,62847	0,033098
1680	44,95592	0,032745
1690	45,27985	0,032393
1700	45,60025	0,03204
1710	45,91712	0,031688
1720	46,23047	0,031335
1730	46,5403	0,030982
1740	46,8466	0,03063
1750	47,14937	0,030277

1760	47,44862	0,029925
1770	47,74434	0,029572
1780	48,03654	0,02922
1790	48,32521	0,028867
1800	48,61036	0,028515
1810	48,89198	0,028162
1820	49,17008	0,02781
1830	49,44465	0,027457
1840	49,7157	0,027105
1850	49,98322	0,026752
1860	50,24721	0,0264
1870	50,50768	0,026047
1880	50,76463	0,025694
1890	51,01804	0,025342
1900	51,26794	0,024989
1910	51,51431	0,024637
1920	51,75715	0,024284
1930	51,99647	0,023932
1940	52,23226	0,023579
1950	52,46453	0,023227
1960	52,69327	0,022874
1970	52,91848	0,022522
1980	53,14017	0,022169
1990	53,35834	0,021817
2000	53,57298	0,021464
2010	53,7841	0,021111
2020	53,99168	0,020759
2030	54,19575	0,020406
2040	54,39629	0,020054
2050	54,5933	0,019701
2060	54,78679	0,019349
2070	54,97675	0,018996
2080	55,16319	0,018644
2090	55,3461	0,018291
2100	55,52549	0,017939
2110	55,70135	0,017586
2120	55,87369	0,017234
2130	56,0425	0,016881
2140	56,20778	0,016529
2150	56,36954	0,016176
2160	56,52778	0,015823
2170	56,68248	0,015471
2180	56,83367	0,015118
2190	56,98133	0,014766
2200	57,12546	0,014413
2210	57,26607	0,014061
2220	57,40315	0,013708
2230	57,53671	0,013356

2240	57,66674	0,013003
2250	57,79325	0,012651
2260	57,91623	0,012298
2270	58,03568	0,011946
2280	58,15161	0,011593
2290	58,26402	0,011241
2300	58,3729	0,010888
2310	58,47825	0,010535
2320	58,58008	0,010183
2330	58,67838	0,00983
2340	58,77316	0,009478
2350	58,86442	0,009125
2360	58,95214	0,008773
2370	59,03635	0,00842
2380	59,11702	0,008068
2390	59,19417	0,007715
2400	59,2678	0,007363
2410	59,3379	0,00701

2420	59,40448	0,006658
2430	59,46753	0,006305
2440	59,52705	0,005952
2450	59,58305	0,0056
2460	59,63552	0,005247
2470	59,68447	0,004895
2480	59,7299	0,004542
2490	59,77179	0,00419
2500	59,81017	0,003837
2510	59,84501	0,003485
2520	59,87634	0,003132
2530	59,90413	0,00278
2540	59,9284	0,002427
2550	59,94915	0,002075
2560	59,96637	0,001722
2570	59,98007	0,00137
2574	59,98456	0,000449

ДОДАТОК Б

ГРАДУЮВАЛЬНІ ТАБЛИЦІ ДЛЯ 11 ОДНАКОВИХ ТИПОРОЗМІРІВ (посантиметрові інтервали)

Таблиця Б.1. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,026374	0,002637378
1	0,047545	0,002117143
2	0,073486	0,002594053
3	0,103055	0,002956955
4	0,135609	0,00325541
5	0,170807	0,003519724
6	0,208413	0,0037606
7	0,248296	0,003988385
8	0,290333	0,004203694
9	0,334398	0,004406463
10	0,380435	0,004603681
11	0,428376	0,004794139
12	0,478148	0,004977205
13	0,529692	0,005154361
14	0,582942	0,005324979
15	0,637841	0,005489929
16	0,694343	0,005650216
17	0,752399	0,005805625
18	0,811963	0,0059564
19	0,872997	0,006103355
20	0,935443	0,00624462
21	0,999274	0,006383064
22	1,064461	0,006518686
23	1,130967	0,006650588
24	1,198745	0,006777851
25	1,267791	0,006904576
26	1,338068	0,007027756
27	1,409555	0,007148639
28	1,482224	0,007266957
29	1,556044	0,007381945
30	1,630986	0,007494187
31	1,707022	0,007603688
32	1,78414	0,007711728
33	1,862324	0,007818456
34	1,941545	0,007922078
35	2,021773	0,008022827

36	2,103017	0,008124348
37	2,185241	0,00822238
38	2,268436	0,008319571
39	2,352564	0,008412749
40	2,437635	0,008507136
41	2,52362	0,008598434
42	2,610484	0,008686478
43	2,698239	0,008775422
44	2,786852	0,00886134
45	2,876306	0,008945395
46	2,966598	0,009029217
47	3,057701	0,009110301
48	3,149615	0,009191399
49	3,2423	0,00926852
50	3,335786	0,009348533
51	3,430033	0,009424778
52	3,525031	0,009499798
53	3,620776	0,009574443
54	3,717239	0,009646297
55	3,814415	0,00971758
56	3,9123	0,009788566
57	4,010849	0,009854907
58	4,11009	0,009924084
59	4,210018	0,009992749
60	4,310586	0,010056884
61	4,411835	0,010124833
62	4,513736	0,010190096
63	4,616248	0,010251208
64	4,719365	0,010311667
65	4,823065	0,010370015
66	4,927334	0,010426898
67	5,032178	0,010484413
68	5,13757	0,010539237
69	5,243511	0,010594133
70	5,350003	0,010649121
71	5,457023	0,010702019
72	5,56456	0,010753738
73	5,672628	0,010806825

74	5,78121	0,010858174
75	5,890294	0,010908344
76	5,999868	0,010957464
77	6,109927	0,011005831
78	6,220463	0,011053636
79	6,33148	0,011101682
80	6,442957	0,011147684
81	6,554907	0,011195072
82	6,667316	0,011240886
83	6,78018	0,011286361
84	6,893498	0,011331815
85	7,007249	0,011375096
86	7,121462	0,011421286
87	7,236072	0,011460989
88	7,35113	0,011505849
89	7,466582	0,011545202
90	7,582469	0,011588725
91	7,698702	0,011623277
92	7,815285	0,011658324
93	7,932208	0,01169224
94	8,049455	0,011724743
95	8,167008	0,011755262
96	8,28488	0,011787259
97	8,40307	0,011818938
98	8,521562	0,0118492
99	8,640362	0,011879996
100	8,759471	0,011910937
101	8,878875	0,011940359
102	8,998555	0,011968041
103	9,118513	0,011995829
104	9,238736	0,012022221
105	9,359239	0,012050336
106	9,480006	0,012076681
107	9,601016	0,012100996
108	9,72228	0,012126427
109	9,843789	0,01215084
110	9,965528	0,012173996
111	10,08749	0,012196283
112	10,20967	0,01221825
113	10,33206	0,01223902
114	10,45467	0,012260676
115	10,57747	0,012279827
116	10,70043	0,012296305
117	10,8236	0,012316959
118	10,94696	0,012335803
119	11,07049	0,012352763

120	11,19419	0,012370199
121	11,31806	0,012387053
122	11,44207	0,012401219
123	11,56624	0,012416978
124	11,69055	0,012431003
125	11,815	0,012444669
126	11,93957	0,012457567
127	12,06427	0,012469763
128	12,18908	0,012480553
129	12,314	0,012492426
130	12,43901	0,012500594
131	12,56411	0,012510628
132	12,68931	0,01251952
133	12,81458	0,012526709
134	12,93991	0,012533457
135	13,06531	0,012539486
136	13,19071	0,012540809
137	13,31616	0,012544872
138	13,44156	0,012540188
139	13,56693	0,012536971
140	13,69224	0,012530449
141	13,81745	0,01252099
142	13,9426	0,012515259
143	14,06764	0,012503911
144	14,1926	0,012495874
145	14,31745	0,012485341
146	14,44218	0,012473266
147	14,5668	0,012461032
148	14,69128	0,012448849
149	14,81559	0,01243099
150	14,9398	0,01242017
151	15,06387	0,012407486
152	15,18781	0,012393516
153	15,31155	0,012374767
154	15,43513	0,012357513
155	15,55855	0,012341752
156	15,6818	0,012324946
157	15,80483	0,012303529
158	15,92773	0,012289936
159	16,05038	0,012265499
160	16,17289	0,012250702
161	16,29516	0,012227175
162	16,41723	0,012207093
163	16,53903	0,012179625
164	16,66062	0,012159183
165	16,78199	0,01213671

166	16,90313	0,012113773
167	17,02401	0,012088171
168	17,14465	0,012064488
169	17,26505	0,012039394
170	17,38517	0,012012599
171	17,50503	0,011985947
172	17,62461	0,011958117
173	17,74394	0,011932606
174	17,86297	0,011902819
175	17,98171	0,011874584
176	18,10017	0,011845302
177	18,21833	0,011816043
178	18,33617	0,011784694
179	18,45368	0,011750725
180	18,57086	0,011718015
181	18,68771	0,011685197
182	18,80423	0,011651128
183	18,92038	0,011615342
184	19,03619	0,0115815
185	19,15163	0,011544079
186	19,26668	0,011504335
187	19,3813	0,011462652
188	19,49555	0,01142481
189	19,60941	0,011385837
190	19,72282	0,011340657
191	19,8358	0,011297936
192	19,94824	0,011244081
193	20,05994	0,011170073
194	20,1707	0,011076469
195	20,28121	0,011051036
196	20,39098	0,010976627
197	20,5	0,01090194
198	20,60929	0,010928787
199	20,71845	0,010916227
200	20,82744	0,010898696
201	20,93597	0,010853446
202	21,04397	0,010799897
203	21,15147	0,010749836
204	21,2584	0,010693212
205	21,36473	0,010632912
206	21,47052	0,010579273
207	21,57573	0,010520474
208	21,68035	0,010462346
209	21,78435	0,010400456
210	21,88772	0,010336479
211	21,99046	0,010273962

212	22,09259	0,010212621
213	22,19407	0,010148531
214	22,2949	0,01008332
215	22,39505	0,010014565
216	22,49452	0,009947387
217	22,59331	0,009878891
218	22,69139	0,009807636
219	22,78875	0,009735985
220	22,88538	0,00966273
221	22,98128	0,009590546
222	23,07645	0,009516394
223	23,17086	0,009441327
224	23,2645	0,009363827
225	23,35735	0,009285237
226	23,44941	0,009206433
227	23,54068	0,009127014
228	23,63114	0,009045353
229	23,72076	0,008962458
230	23,80955	0,008878414
231	23,89749	0,008794644
232	23,98457	0,008707582
233	24,07076	0,008618883
234	24,15604	0,008528399
235	24,24041	0,008437192
236	24,32386	0,008345055
237	24,40637	0,00825055
238	24,48791	0,008154061
239	24,56846	0,008055312
240	24,64803	0,007956361
241	24,72657	0,00785441
242	24,80408	0,007750671
243	24,88053	0,007645166
244	24,95589	0,007536339
245	25,03017	0,007427708
246	25,10332	0,007314665
247	25,17533	0,007201209
248	25,24617	0,00708449
249	25,31581	0,006963928
250	25,38418	0,006837146
251	25,45127	0,006708252
252	25,51702	0,006575592
253	25,58143	0,006440403
254	25,64444	0,006301328
255	25,70601	0,006157523
256	25,76611	0,006010011
257	25,82469	0,005857622

258	25,8817	0,005700528
259	25,93709	0,005538898
260	25,9908	0,005371139
261	26,04276	0,005196629
262	26,09292	0,005015218
263	26,14118	0,004826514
264	26,18748	0,004629833

265	26,23171	0,004423254
266	26,27377	0,004206289
267	26,31355	0,003977248
268	26,35092	0,003737518
269	26,38577	0,003484329
269	26,3891	0,00033371

Таблиця Б.2. Градуювальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,008	0,0008
1	0,027	0,0019
2	0,054	0,0027
3	0,084	0,003
4	0,117	0,0033
5	0,153	0,0036
6	0,191	0,0038
7	0,231	0,004
8	0,274	0,0043
9	0,318	0,0044
10	0,365	0,0047
11	0,413	0,0048
12	0,464	0,0051
13	0,516	0,0052
14	0,57	0,0054
15	0,625	0,0055
16	0,682	0,0057
17	0,741	0,0059
18	0,801	0,006
19	0,862	0,0061
20	0,924	0,0062
21	0,988	0,0064
22	1,054	0,0066
23	1,121	0,0067
24	1,189	0,0068
25	1,259	0,007
26	1,329	0,007
27	1,401	0,0072
28	1,474	0,0073
29	1,549	0,0075
30	1,624	0,0075
31	1,701	0,0077
32	1,778	0,0077

33	1,856	0,0078
34	1,935	0,0079
35	2,016	0,0081
36	2,098	0,0082
37	2,18	0,0082
38	2,264	0,0084
39	2,348	0,0084
40	2,434	0,0086
41	2,52	0,0086
42	2,607	0,0087
43	2,695	0,0088
44	2,784	0,0089
45	2,874	0,009
46	2,964	0,009
47	3,055	0,0091
48	3,147	0,0092
49	3,24	0,0093
50	3,334	0,0094
51	3,429	0,0095
52	3,524	0,0095
53	3,62	0,0096
54	3,717	0,0097
55	3,814	0,0097
56	3,912	0,0098
57	4,011	0,0099
58	4,111	0,01
59	4,21	0,0099
60	4,311	0,0101
61	4,412	0,0101
62	4,514	0,0102
63	4,617	0,0103
64	4,72	0,0103
65	4,824	0,0104
66	4,929	0,0105
67	5,034	0,0105
68	5,139	0,0105

69	5,246	0,0107
70	5,352	0,0106
71	5,46	0,0108
72	5,566	0,0106
73	5,675	0,0109
74	5,783	0,0108
75	5,893	0,011
76	6,002	0,0109
77	6,113	0,0111
78	6,223	0,011
79	6,335	0,0112
80	6,446	0,0111
81	6,559	0,0113
82	6,671	0,0112
83	6,784	0,0113
84	6,898	0,0114
85	7,011	0,0113
86	7,125	0,0114
87	7,24	0,0115
88	7,355	0,0115
89	7,47	0,0115
90	7,586	0,0116
91	7,703	0,0117
92	7,819	0,0116
93	7,936	0,0117
94	8,054	0,0118
95	8,171	0,0117
96	8,289	0,0118
97	8,408	0,0119
98	8,525	0,0117
99	8,644	0,0119
100	8,763	0,0119
101	8,883	0,012
102	9,002	0,0119
103	9,122	0,012
104	9,243	0,0121
105	9,363	0,012
106	9,484	0,0121
107	9,605	0,0121
108	9,726	0,0121
109	9,848	0,0122
110	9,97	0,0122
111	10,091	0,0121
112	10,213	0,0122
113	10,335	0,0122
114	10,458	0,0123
115	10,58	0,0122
116	10,703	0,0123

117	10,826	0,0123
118	10,95	0,0124
119	11,073	0,0123
120	11,197	0,0124
121	11,321	0,0124
122	11,444	0,0123
123	11,568	0,0124
124	11,691	0,0123
125	11,816	0,0125
126	11,94	0,0124
127	12,064	0,0124
128	12,189	0,0125
129	12,314	0,0125
130	12,438	0,0124
131	12,563	0,0125
132	12,688	0,0125
133	12,813	0,0125
134	12,938	0,0125
135	13,062	0,0124
136	13,187	0,0125
137	13,311	0,0124
138	13,436	0,0125
139	13,561	0,0125
140	13,686	0,0125
141	13,811	0,0125
142	13,936	0,0125
143	14,06	0,0124
144	14,185	0,0125
145	14,309	0,0124
146	14,434	0,0125
147	14,558	0,0124
148	14,682	0,0124
149	14,806	0,0124
150	14,929	0,0123
151	15,053	0,0124
152	15,176	0,0123
153	15,3	0,0124
154	15,423	0,0123
155	15,546	0,0123
156	15,669	0,0123
157	15,792	0,0123
158	15,915	0,0123
159	16,037	0,0122
160	16,16	0,0123
161	16,282	0,0122
162	16,404	0,0122
163	16,524	0,012
164	16,646	0,0122

165	16,767	0,0121
166	16,888	0,0121
167	17,008	0,012
168	17,129	0,0121
169	17,249	0,012
170	17,369	0,012
171	17,488	0,0119
172	17,608	0,012
173	17,727	0,0119
174	17,845	0,0118
175	17,964	0,0119
176	18,081	0,0117
177	18,199	0,0118
178	18,316	0,0117
179	18,434	0,0118
180	18,55	0,0116
181	18,667	0,0117
182	18,783	0,0116
183	18,899	0,0116
184	19,014	0,0115
185	19,129	0,0115
186	19,244	0,0115
187	19,358	0,0114
188	19,472	0,0114
189	19,585	0,0113
190	19,698	0,0113
191	19,811	0,0113
192	19,923	0,0112
193	20,035	0,0112
194	20,147	0,0112
195	20,258	0,0111
196	20,368	0,011
197	20,478	0,011
198	20,588	0,011
199	20,697	0,0109
200	20,806	0,0109
201	20,914	0,0108
202	21,021	0,0107
203	21,128	0,0107
204	21,234	0,0106
205	21,34	0,0106
206	21,445	0,0105
207	21,55	0,0105
208	21,654	0,0104
209	21,758	0,0104
210	21,861	0,0103
211	21,963	0,0102
212	22,064	0,0101

213	22,165	0,0101
214	22,265	0,01
215	22,364	0,0099
216	22,463	0,0099
217	22,561	0,0098
218	22,658	0,0097
219	22,755	0,0097
220	22,851	0,0096
221	22,946	0,0095
222	23,041	0,0095
223	23,134	0,0093
224	23,227	0,0093
225	23,319	0,0092
226	23,411	0,0092
227	23,501	0,009
228	23,59	0,0089
229	23,679	0,0089
230	23,767	0,0088
231	23,854	0,0087
232	23,941	0,0087
233	24,026	0,0085
234	24,11	0,0084
235	24,194	0,0084
236	24,277	0,0083
237	24,358	0,0081
238	24,439	0,0081
239	24,519	0,008
240	24,598	0,0079
241	24,674	0,0076
242	24,751	0,0077
243	24,827	0,0076
244	24,901	0,0074
245	24,975	0,0074
246	25,047	0,0072
247	25,118	0,0071
248	25,188	0,007
249	25,257	0,0069
250	25,324	0,0067
251	25,39	0,0066
252	25,455	0,0065
253	25,518	0,0063
254	25,579	0,0061
255	25,639	0,006
256	25,698	0,0059
257	25,756	0,0058
258	25,811	0,0055
259	25,866	0,0055
260	25,918	0,0052

Таблиця Б.3. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм			
0	0,025957045	0,002595704	41	2,555508376	0,00863855
1	0,048305528	0,002234848	42	2,642751241	0,008724286
2	0,075684947	0,002737942	43	2,730872618	0,008812138
3	0,106645663	0,003096072	44	2,819825884	0,008895327
4	0,140566128	0,003392046	45	2,909608091	0,008978221
5	0,177131973	0,003656585	46	3,000202889	0,00905948
6	0,216063045	0,003893107	47	3,091556948	0,009135406
7	0,25716909	0,004110605	48	3,183710198	0,009215325
8	0,300327568	0,004315848	49	3,276576142	0,009286594
9	0,345495158	0,004516759	50	3,370216177	0,009364004
10	0,392620605	0,004712545	51	3,464595185	0,009437901
11	0,441603809	0,00489832	52	3,559692701	0,009509752
12	0,492359329	0,005075552	53	3,655519253	0,009582655
13	0,544823895	0,005246457	54	3,752008452	0,00964892
14	0,598959682	0,005413579	55	3,849215257	0,009720681
15	0,654735019	0,005577534	56	3,947118184	0,009790293
16	0,712077587	0,005734257	57	4,045699197	0,009858101
17	0,770951105	0,005887352	58	4,144935941	0,009923674
18	0,831303303	0,00603522	59	4,244816684	0,009988074
19	0,893111901	0,00618086	60	4,345327555	0,010051087
20	0,95632665	0,006321475	61	4,446413794	0,010108624
21	1,020895825	0,006456917	62	4,548153138	0,010173934
22	1,086786817	0,006589099	63	4,650448293	0,010229516
23	1,153962794	0,006717598	64	4,753340847	0,010289255
24	1,222394241	0,006843145	65	4,856843994	0,010350315
25	1,292057484	0,006966324	66	4,960866193	0,01040222
26	1,362926844	0,007086936	67	5,065488061	0,010462187
27	1,434974763	0,007204792	68	5,170654855	0,010516679
28	1,5081798	0,007320504	69	5,276376197	0,010572134
29	1,58251961	0,007433981	70	5,382692154	0,010631596
30	1,657949749	0,007543014	71	5,489556267	0,010686411
31	1,734470326	0,007652058	72	5,5969991	0,010744283
32	1,812069787	0,007759946	73	5,704979929	0,010798083
33	1,89070602	0,007863623	74	5,813439771	0,010845984
34	1,970389763	0,007968374	75	5,922445946	0,010900618
35	2,051099944	0,008071018	76	6,031934662	0,010948872
36	2,132795054	0,008169511	77	6,141914486	0,010997982
37	2,215465067	0,008267001	78	6,252416105	0,011050162
38	2,299102161	0,008363709	79	6,363418585	0,011100248
39	2,383642448	0,008454029	80	6,47487663	0,011145804
40	2,469122878	0,008548043	81	6,586862279	0,011198565
			82	6,699292169	0,011242989
			83	6,812201289	0,011290912
			84	6,925579893	0,01133786

85	7,039404	0,011382411
86	7,153660044	0,011425604
87	7,268375455	0,011471541
88	7,383499158	0,01151237
89	7,498993283	0,011549412
90	7,614847044	0,011585376
91	7,731025637	0,011617859
92	7,847520205	0,011649457
93	7,964338164	0,011681796
94	8,081466322	0,011712816
95	8,198908321	0,0117442
96	8,316676409	0,011776809
97	8,434758457	0,011808205
98	8,553153169	0,011839471
99	8,671852679	0,011869951
100	8,79084128	0,01189886
101	8,910130216	0,011928894
102	9,029696924	0,011956671
103	9,149559279	0,011986236
104	9,269686056	0,012012678
105	9,390074552	0,01203885
106	9,510728684	0,012065413
107	9,631622345	0,012089366
108	9,752753064	0,012113072
109	9,874120592	0,012136753
110	9,99571908	0,012159849
111	10,11753316	0,012181408
112	10,23954804	0,012201488
113	10,36177895	0,012223091
114	10,48421091	0,012243195
115	10,60680199	0,012259109
116	10,72959577	0,012279377
117	10,85257053	0,012297476
118	10,97568833	0,01231178
119	11,09897207	0,012328374
120	11,22244554	0,012347347
121	11,34606686	0,012362132
122	11,46982881	0,012376195
123	11,59374701	0,012391819
124	11,71780802	0,012406102
125	11,84200567	0,012419765
126	11,96634357	0,01243379
127	12,09078599	0,012444241
128	12,21535354	0,012456755
129	12,34002519	0,012467165
130	12,46478536	0,012476017
131	12,58964399	0,012485864
132	12,71456887	0,012492488

133	12,83955932	0,012499045
134	12,96459753	0,012503821
135	13,08967092	0,012507339
136	13,21474633	0,012507541
137	13,33983277	0,012508644
138	13,46490017	0,01250674
139	13,58994132	0,012504115
140	13,71490651	0,012496519
141	13,83981198	0,012490547
142	13,96463624	0,012482426
143	14,08937805	0,012474181
144	14,21400396	0,012462591
145	14,33850443	0,012450046
146	14,46287752	0,012437309
147	14,58713012	0,012425261
148	14,71126602	0,01241359
149	14,83525666	0,012399063
150	14,95908612	0,012382947
151	15,08278961	0,012370349
152	15,20631422	0,012352461
153	15,3296633	0,012334908
154	15,45289196	0,012322866
155	15,57591935	0,012302739
156	15,69878999	0,012287064
157	15,82146935	0,012267936
158	15,94397895	0,01225096
159	16,06623398	0,012225503
160	16,18827886	0,012204487
161	16,31012871	0,012184986
162	16,43174367	0,012161496
163	16,5531322	0,012138852
164	16,67415373	0,012102154
165	16,79501379	0,012086005
166	16,91556684	0,012055305
167	17,03584823	0,012028139
168	17,15577078	0,011992255
169	17,27544511	0,011967433
170	17,39484588	0,011940077
171	17,51393396	0,011908808
172	17,63266268	0,011872872
173	17,75103234	0,011836966
174	17,86892926	0,011789692
175	17,98656279	0,011763353
176	18,10386671	0,011730392
177	18,22079458	0,011692787
178	18,33721325	0,011641867
179	18,45331763	0,011610438
180	18,56903885	0,011572122

181	18,6842078	0,011516894
182	18,7992079	0,011500011
183	18,9138686	0,01146607
184	19,02803029	0,011416168
185	19,14172138	0,01136911
186	19,25506766	0,011334627
187	19,36788351	0,011281585
188	19,48026505	0,011238154
189	19,59231617	0,011205113
190	19,7037287	0,011141253
191	19,8144431	0,01107144
192	19,92485685	0,011041375
193	20,03446146	0,010960461
194	20,14350994	0,010904847
195	20,25117973	0,010766979
196	20,35593987	0,010476014
197	20,45385853	0,009791867
198	20,55572341	0,010186488
199	20,6600617	0,010433829
200	20,76577138	0,010570968
201	20,87152389	0,010575251
202	20,97697978	0,010545589
203	21,08233073	0,010535095
204	21,18724446	0,010491373
205	21,29176597	0,010452151
206	21,39578591	0,010401994
207	21,49923436	0,010344845
208	21,60219508	0,010296071
209	21,70478692	0,010259185
210	21,80663828	0,010185136
211	21,90785055	0,010121227
212	22,00848368	0,010063314
213	22,10848491	0,010000123
214	22,20799935	0,009951445
215	22,30681818	0,009881882
216	22,40487064	0,009805246
217	22,50230349	0,009743285
218	22,59915415	0,009685066
219	22,69530935	0,00961552
220	22,79067481	0,009536546
221	22,88524114	0,009456634
222	22,97911948	0,009387834
223	23,07236935	0,009324986
224	23,16485777	0,009248842
225	23,25646905	0,009161128

226	23,34729657	0,009082752
227	23,4374361	0,009013953
228	23,52675169	0,008931558
229	23,61528548	0,008853379
230	23,70291159	0,008762611
231	23,78979665	0,008688506
232	23,87579955	0,00860029
233	23,96092888	0,008512933
234	24,04511919	0,008419031
235	24,12845926	0,008334007
236	24,21097742	0,008251816
237	24,29245784	0,008148042
238	24,37297065	0,008051281
239	24,45265191	0,007968126
240	24,53134433	0,007869243
241	24,60890438	0,007756005
242	24,68551619	0,007661181
243	24,76101107	0,007549488
244	24,83549886	0,007448779
245	24,90890769	0,007340883
246	24,98121067	0,007230298
247	25,05240428	0,007119361
248	25,12234543	0,006994115
249	25,19105047	0,006870504
250	25,25850851	0,006745804
251	25,32465109	0,006614258
252	25,38946405	0,006481296
253	25,45295929	0,006349525
254	25,51503426	0,006207497
255	25,57569285	0,006065859
256	25,63486214	0,005916929
257	25,69252595	0,005766382
258	25,74863276	0,00561068
259	25,80309289	0,005446013
260	25,85588088	0,005278798
261	25,9069591	0,005107822
262	25,95619382	0,004923472
263	26,00349036	0,004729653
264	26,04874673	0,004525638
265	26,0918966	0,004314987
266	26,13282629	0,004092969
267	26,17136405	0,003853776
268	26,20735663	0,003599258
269	26,24061513	0,003325849
269	26,25915651	0,001854139

Таблиця Б.4. Градувальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,016	0,0016
1	0,038	0,0022
2	0,065	0,0027
3	0,095	0,003
4	0,129	0,0034
5	0,166	0,0037
6	0,204	0,0038
7	0,245	0,0041
8	0,288	0,0043
9	0,333	0,0045
10	0,381	0,0048
11	0,43	0,0049
12	0,481	0,0051
13	0,534	0,0053
14	0,588	0,0054
15	0,644	0,0056
16	0,702	0,0058
17	0,761	0,0059
18	0,821	0,006
19	0,883	0,0062
20	0,946	0,0063
21	1,01	0,0064
22	1,076	0,0066
23	1,144	0,0068
24	1,213	0,0069
25	1,282	0,0069
26	1,354	0,0072
27	1,426	0,0072
28	1,499	0,0073
29	1,574	0,0075
30	1,65	0,0076
31	1,726	0,0076
32	1,804	0,0078
33	1,882	0,0078
34	1,962	0,008
35	2,043	0,0081
36	2,125	0,0082
37	2,208	0,0083
38	2,291	0,0083
39	2,376	0,0085
40	2,462	0,0086
41	2,548	0,0086

42	2,636	0,0088
43	2,724	0,0088
44	2,813	0,0089
45	2,903	0,009
46	2,993	0,009
47	3,084	0,0091
48	3,176	0,0092
49	3,27	0,0094
50	3,363	0,0093
51	3,458	0,0095
52	3,553	0,0095
53	3,65	0,0097
54	3,746	0,0096
55	3,844	0,0098
56	3,942	0,0098
57	4,041	0,0099
58	4,14	0,0099
59	4,24	0,01
60	4,34	0,01
61	4,442	0,0102
62	4,544	0,0102
63	4,647	0,0103
64	4,75	0,0103
65	4,854	0,0104
66	4,958	0,0104
67	5,063	0,0105
68	5,168	0,0105
69	5,274	0,0106
70	5,381	0,0107
71	5,488	0,0107
72	5,595	0,0107
73	5,703	0,0108
74	5,812	0,0109
75	5,921	0,0109
76	6,031	0,011
77	6,141	0,011
78	6,251	0,011
79	6,363	0,0112
80	6,474	0,0111
81	6,586	0,0112
82	6,699	0,0113
83	6,812	0,0113
84	6,925	0,0113
85	7,038	0,0113
86	7,152	0,0114

87	7,267	0,0115
88	7,382	0,0115
89	7,498	0,0116
90	7,613	0,0115
91	7,729	0,0116
92	7,846	0,0117
93	7,963	0,0117
94	8,08	0,0117
95	8,198	0,0118
96	8,315	0,0117
97	8,433	0,0118
98	8,551	0,0118
99	8,67	0,0119
100	8,789	0,0119
101	8,908	0,0119
102	9,028	0,012
103	9,147	0,0119
104	9,267	0,012
105	9,388	0,0121
106	9,508	0,012
107	9,629	0,0121
108	9,75	0,0121
109	9,872	0,0122
110	9,993	0,0121
111	10,114	0,0121
112	10,236	0,0122
113	10,358	0,0122
114	10,481	0,0123
115	10,603	0,0122
116	10,726	0,0123
117	10,849	0,0123
118	10,972	0,0123
119	11,095	0,0123
120	11,218	0,0123
121	11,342	0,0124
122	11,466	0,0124
123	11,589	0,0123
124	11,712	0,0123
125	11,836	0,0124
126	11,96	0,0124
127	12,085	0,0125
128	12,209	0,0124
129	12,333	0,0124
130	12,458	0,0125
131	12,582	0,0124
132	12,707	0,0125
133	12,832	0,0125
134	12,956	0,0124

135	13,081	0,0125
136	13,205	0,0124
137	13,329	0,0124
138	13,454	0,0125
139	13,579	0,0125
140	13,703	0,0124
141	13,828	0,0125
142	13,952	0,0124
143	14,077	0,0125
144	14,201	0,0124
145	14,325	0,0124
146	14,449	0,0124
147	14,573	0,0124
148	14,697	0,0124
149	14,82	0,0123
150	14,944	0,0124
151	15,067	0,0123
152	15,19	0,0123
153	15,314	0,0124
154	15,437	0,0123
155	15,56	0,0123
156	15,682	0,0122
157	15,805	0,0123
158	15,927	0,0122
159	16,049	0,0122
160	16,171	0,0122
161	16,293	0,0122
162	16,413	0,012
163	16,535	0,0122
164	16,656	0,0121
165	16,777	0,0121
166	16,897	0,012
167	17,018	0,0121
168	17,138	0,012
169	17,257	0,0119
170	17,377	0,012
171	17,496	0,0119
172	17,615	0,0119
173	17,734	0,0119
174	17,852	0,0118
175	17,969	0,0117
176	18,087	0,0118
177	18,204	0,0117
178	18,322	0,0118
179	18,438	0,0116
180	18,555	0,0117
181	18,671	0,0116
182	18,787	0,0116

183	18,902	0,0115
184	19,017	0,0115
185	19,132	0,0115
186	19,246	0,0114
187	19,36	0,0114
188	19,472	0,0112
189	19,585	0,0113
190	19,698	0,0113
191	19,81	0,0112
192	19,922	0,0112
193	20,033	0,0111
194	20,144	0,0111
195	20,255	0,0111
196	20,365	0,011
197	20,474	0,0109
198	20,583	0,0109
199	20,692	0,0109
200	20,8	0,0108
201	20,907	0,0107
202	21,014	0,0107
203	21,12	0,0106
204	21,226	0,0106
205	21,331	0,0105
206	21,436	0,0105
207	21,541	0,0105
208	21,644	0,0103
209	21,747	0,0103
210	21,85	0,0103
211	21,951	0,0101
212	22,053	0,0102
213	22,153	0,01
214	22,252	0,0099
215	22,351	0,0099
216	22,449	0,0098
217	22,547	0,0098
218	22,644	0,0097
219	22,74	0,0096
220	22,836	0,0096
221	22,93	0,0094

222	23,024	0,0094
223	23,118	0,0094
224	23,21	0,0092
225	23,302	0,0092
226	23,393	0,0091
227	23,482	0,0089
228	23,571	0,0089
229	23,659	0,0088
230	23,747	0,0088
231	23,834	0,0087
232	23,919	0,0085
233	24,004	0,0085
234	24,088	0,0084
235	24,171	0,0083
236	24,254	0,0083
237	24,335	0,0081
238	24,415	0,008
239	24,494	0,0079
240	24,572	0,0078
241	24,649	0,0077
242	24,725	0,0076
243	24,8	0,0075
244	24,874	0,0074
245	24,947	0,0073
246	25,019	0,0072
247	25,089	0,007
248	25,159	0,007
249	25,227	0,0068
250	25,294	0,0067
251	25,359	0,0065
252	25,423	0,0064
253	25,485	0,0062
254	25,546	0,0061
255	25,606	0,006
256	25,664	0,0058
257	25,721	0,0057
258	25,776	0,0055
259	25,83	0,0054

Таблиця Б.5. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,042348	0,004235

1	0,070053	0,002771
2	0,101684	0,003163
3	0,13639	0,003471
4	0,173527	0,003714

5	0,212846	0,003932
6	0,254245	0,00414
7	0,297631	0,004339
8	0,342943	0,004531
9	0,390117	0,004717
10	0,439078	0,004896
11	0,489795	0,005072
12	0,542207	0,005241
13	0,596275	0,005407
14	0,651941	0,005567
15	0,709146	0,005721
16	0,767867	0,005872
17	0,82806	0,006019
18	0,889694	0,006163
19	0,952724	0,006303
20	1,017113	0,006439
21	1,082833	0,006572
22	1,149833	0,0067
23	1,21809	0,006826
24	1,287585	0,00695
25	1,358285	0,00707
26	1,430165	0,007188
27	1,503197	0,007303
28	1,57735	0,007415
29	1,652629	0,007528
30	1,728989	0,007636
31	1,806418	0,007743
32	1,884897	0,007848
33	1,964415	0,007952
34	2,04493	0,008051
35	2,126426	0,00815
36	2,208905	0,008248
37	2,292344	0,008344
38	2,376728	0,008438
39	2,462029	0,00853
40	2,548238	0,008621
41	2,63536	0,008712
42	2,723372	0,008801
43	2,812246	0,008887
44	2,901982	0,008974
45	2,992542	0,009056
46	3,083943	0,00914
47	3,176153	0,009221
48	3,269166	0,009301
49	3,362945	0,009378
50	3,457469	0,009452
51	3,55273	0,009526
52	3,648721	0,009599

53	3,745422	0,00967
54	3,842837	0,009741
55	3,940928	0,009809
56	4,039697	0,009877
57	4,13912	0,009942
58	4,239229	0,010011
59	4,339992	0,010076
60	4,441403	0,010141
61	4,543432	0,010203
62	4,646096	0,010266
63	4,749362	0,010327
64	4,853233	0,010387
65	4,957691	0,010446
66	5,062715	0,010502
67	5,168291	0,010558
68	5,274412	0,010612
69	5,381064	0,010665
70	5,488241	0,010718
71	5,595929	0,010769
72	5,704144	0,010822
73	5,812859	0,010871
74	5,92207	0,010921
75	6,03176	0,010969
76	6,141938	0,011018
77	6,25258	0,011064
78	6,363701	0,011112
79	6,475262	0,011156
80	6,587286	0,011202
81	6,69975	0,011246
82	6,812638	0,011289
83	6,925962	0,011332
84	7,039727	0,011376
85	7,153935	0,011421
86	7,268553	0,011462
87	7,383601	0,011505
88	7,499059	0,011546
89	7,614903	0,011584
90	7,731183	0,011628
91	7,847877	0,011669
92	7,964949	0,011707
93	8,082393	0,011744
94	8,200179	0,011779
95	8,318252	0,011807
96	8,436585	0,011833
97	8,555216	0,011863
98	8,674134	0,011892
99	8,793295	0,011916
100	8,912785	0,011949

101	9,032546	0,011976
102	9,152594	0,012005
103	9,272923	0,012033
104	9,393483	0,012056
105	9,514288	0,012081
106	9,63538	0,012109
107	9,756682	0,01213
108	9,878189	0,012151
109	9,999965	0,012178
110	10,12194	0,012198
111	10,24415	0,012221
112	10,36653	0,012238
113	10,48912	0,012258
114	10,61185	0,012273
115	10,73477	0,012292
116	10,85785	0,012308
117	10,9811	0,012326
118	11,10453	0,012342
119	11,22814	0,012361
120	11,3519	0,012376
121	11,47539	0,012349
122	11,59937	0,012398
123	11,72357	0,01242
124	11,84789	0,012432
125	11,97236	0,012447
126	12,09697	0,01246
127	12,22169	0,012473
128	12,34654	0,012485
129	12,47151	0,012496
130	12,59657	0,012506
131	12,72172	0,012515
132	12,84699	0,012526
133	12,9723	0,012531
134	13,09768	0,012538
135	13,22308	0,01254
136	13,34851	0,012543
137	13,47392	0,012541
138	13,59923	0,012532
139	13,72448	0,012525
140	13,84965	0,012517
141	13,97471	0,012506
142	14,09965	0,012494
143	14,2245	0,012485
144	14,34926	0,012476
145	14,47389	0,012463
146	14,59837	0,012448
147	14,72277	0,012439
148	14,84701	0,012425

149	14,97111	0,01241
150	15,09505	0,012394
151	15,21887	0,012382
152	15,34253	0,012366
153	15,46598	0,012345
154	15,58925	0,012327
155	15,71233	0,012309
156	15,83525	0,012291
157	15,95794	0,012269
158	16,08043	0,012249
159	16,2027	0,012227
160	16,32476	0,012206
161	16,44663	0,012186
162	16,56827	0,012164
163	16,68967	0,01214
164	16,81084	0,012117
165	16,93177	0,012093
166	17,05247	0,01207
167	17,17292	0,012044
168	17,29311	0,012019
169	17,41302	0,011991
170	17,53267	0,011965
171	17,65205	0,011938
172	17,77114	0,011909
173	17,88994	0,01188
174	18,00843	0,01185
175	18,12661	0,011817
176	18,24446	0,011785
177	18,36197	0,011751
178	18,47914	0,011717
179	18,59598	0,011684
180	18,71246	0,011648
181	18,82856	0,01161
182	18,94429	0,011573
183	19,05963	0,011534
184	19,17461	0,011498
185	19,28918	0,011457
186	19,40333	0,011415
187	19,51711	0,011378
188	19,63045	0,011334
189	19,74332	0,011287
190	19,85576	0,011244
191	19,96765	0,011189
192	20,07891	0,011126
193	20,1895	0,011059
194	20,2991	0,01096
195	20,40817	0,010907
196	20,51766	0,010949

197	20,6266	0,010894
198	20,73487	0,010827
199	20,84301	0,010814
200	20,95076	0,010775
201	21,058	0,010724
202	21,1647	0,01067
203	21,27088	0,010618
204	21,3765	0,010562
205	21,48156	0,010506
206	21,58604	0,010448
207	21,68993	0,010388
208	21,79319	0,010327
209	21,89584	0,010264
210	21,99784	0,010201
211	22,09921	0,010136
212	22,19993	0,010072
213	22,29997	0,010005
214	22,39935	0,009938
215	22,49805	0,00987
216	22,59606	0,0098
217	22,69338	0,009732
218	22,78999	0,009661
219	22,88587	0,009588
220	22,98104	0,009516
221	23,07546	0,009443
222	23,16914	0,009368
223	23,26207	0,009293
224	23,35421	0,009214
225	23,44558	0,009136
226	23,53615	0,009058
227	23,62594	0,008978
228	23,71489	0,008896
229	23,80302	0,008813
230	23,89031	0,008729
231	23,97675	0,008644
232	24,06232	0,008557

233	24,14698	0,008466
234	24,23076	0,008378
235	24,31363	0,008287
236	24,39555	0,008192
237	24,47652	0,008096
238	24,55648	0,007996
239	24,63544	0,007896
240	24,71338	0,007794
241	24,79026	0,007688
242	24,86606	0,007579
243	24,94076	0,00747
244	25,01433	0,007357
245	25,08679	0,007245
246	25,15809	0,00713
247	25,22821	0,007012
248	25,29714	0,006892
249	25,36482	0,006768
250	25,43121	0,00664
251	25,49629	0,006508
252	25,56003	0,006374
253	25,6224	0,006237
254	25,68334	0,006094
255	25,74281	0,005947
256	25,80076	0,005795
257	25,85713	0,005637
258	25,91183	0,005471
259	25,96483	0,0053
260	26,01607	0,005124
261	26,06548	0,004941
262	26,11296	0,004748
263	26,1584	0,004544
264	26,2017	0,00433
265	26,24271	0,004101
266	26,28129	0,003858
267	26,3173	0,003601
267	26,34737	0,003007

Таблиця Б.6. Градувальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,02	0,002
1	0,045	0,0025
2	0,075	0,003

3	0,109	0,0034
4	0,145	0,0036
5	0,184	0,0039
6	0,225	0,0041
7	0,268	0,0043
8	0,313	0,0045

9	0,36	0,0047
10	0,409	0,0049
11	0,459	0,005
12	0,512	0,0053
13	0,566	0,0054
14	0,621	0,0055
15	0,678	0,0057
16	0,737	0,0059
17	0,797	0,006
18	0,859	0,0062
19	0,922	0,0063
20	0,986	0,0064
21	1,052	0,0066
22	1,119	0,0067
23	1,187	0,0068
24	1,257	0,007
25	1,328	0,0071
26	1,4	0,0072
27	1,473	0,0073
28	1,547	0,0074
29	1,622	0,0075
30	1,699	0,0077
31	1,776	0,0077
32	1,855	0,0079
33	1,934	0,0079
34	2,015	0,0081
35	2,096	0,0081
36	2,179	0,0083
37	2,262	0,0083
38	2,347	0,0085
39	2,432	0,0085
40	2,519	0,0087
41	2,606	0,0087
42	2,694	0,0088
43	2,783	0,0089
44	2,872	0,0089
45	2,963	0,0091
46	3,054	0,0091
47	3,147	0,0093
48	3,24	0,0093
49	3,333	0,0093
50	3,428	0,0095
51	3,523	0,0095
52	3,619	0,0096
53	3,716	0,0097
54	3,813	0,0097
55	3,911	0,0098
56	4,01	0,0099

57	4,109	0,0099
58	4,209	0,01
59	4,31	0,0101
60	4,412	0,0102
61	4,514	0,0102
62	4,616	0,0102
63	4,72	0,0104
64	4,823	0,0103
65	4,928	0,0105
66	5,033	0,0105
67	5,138	0,0105
68	5,245	0,0107
69	5,351	0,0106
70	5,458	0,0107
71	5,566	0,0108
72	5,674	0,0108
73	5,783	0,0109
74	5,892	0,0109
75	6,002	0,011
76	6,112	0,011
77	6,223	0,0111
78	6,334	0,0111
79	6,446	0,0112
80	6,558	0,0112
81	6,67	0,0112
82	6,783	0,0113
83	6,897	0,0114
84	7,011	0,0114
85	7,125	0,0114
86	7,24	0,0115
87	7,355	0,0115
88	7,47	0,0115
89	7,586	0,0116
90	7,702	0,0116
91	7,819	0,0117
92	7,936	0,0117
93	8,054	0,0118
94	8,171	0,0117
95	8,29	0,0119
96	8,408	0,0118
97	8,527	0,0119
98	8,646	0,0119
99	8,765	0,0119
100	8,884	0,0119
101	9,004	0,012
102	9,124	0,012
103	9,244	0,012
104	9,365	0,0121

105	9,486	0,0121
106	9,607	0,0121
107	9,728	0,0121
108	9,849	0,0121
109	9,971	0,0122
110	10,093	0,0122
111	10,215	0,0122
112	10,337	0,0122
113	10,46	0,0123
114	10,583	0,0123
115	10,705	0,0122
116	10,828	0,0123
117	10,952	0,0124
118	11,075	0,0123
119	11,198	0,0123
120	11,322	0,0124
121	11,446	0,0124
122	11,57	0,0124
123	11,694	0,0124
124	11,818	0,0124
125	11,942	0,0124
126	12,066	0,0124
127	12,191	0,0125
128	12,315	0,0124
129	12,44	0,0125
130	12,565	0,0125
131	12,69	0,0125
132	12,814	0,0124
133	12,939	0,0125
134	13,064	0,0125
135	13,189	0,0125
136	13,314	0,0125
137	13,439	0,0125
138	13,564	0,0125
139	13,689	0,0125
140	13,814	0,0125
141	13,938	0,0124
142	14,063	0,0125
143	14,188	0,0125
144	14,312	0,0124
145	14,436	0,0124
146	14,561	0,0125
147	14,685	0,0124
148	14,809	0,0124
149	14,933	0,0124
150	15,056	0,0123
151	15,18	0,0124
152	15,303	0,0123

153	15,427	0,0124
154	15,55	0,0123
155	15,673	0,0123
156	15,795	0,0122
157	15,918	0,0123
158	16,04	0,0122
159	16,162	0,0122
160	16,284	0,0122
161	16,406	0,0122
162	16,527	0,0121
163	16,649	0,0122
164	16,77	0,0121
165	16,89	0,012
166	17,011	0,0121
167	17,131	0,012
168	17,251	0,012
169	17,371	0,012
170	17,49	0,0119
171	17,609	0,0119
172	17,728	0,0119
173	17,847	0,0119
174	17,965	0,0118
175	18,083	0,0118
176	18,2	0,0117
177	18,318	0,0118
178	18,435	0,0117
179	18,551	0,0116
180	18,668	0,0117
181	18,783	0,0115
182	18,899	0,0116
183	19,014	0,0115
184	19,129	0,0115
185	19,244	0,0115
186	19,358	0,0114
187	19,471	0,0113
188	19,585	0,0114
189	19,697	0,0112
190	19,81	0,0113
191	19,922	0,0112
192	20,034	0,0112
193	20,145	0,0111
194	20,255	0,011
195	20,366	0,0111
196	20,475	0,0109
197	20,585	0,011
198	20,694	0,0109
199	20,802	0,0108
200	20,91	0,0108

201	21,017	0,0107
202	21,123	0,0106
203	21,23	0,0107
204	21,335	0,0105
205	21,44	0,0105
206	21,544	0,0104
207	21,648	0,0104
208	21,751	0,0103
209	21,854	0,0103
210	21,955	0,0101
211	22,057	0,0102
212	22,157	0,01
213	22,257	0,01
214	22,356	0,0099
215	22,455	0,0099
216	22,552	0,0097
217	22,649	0,0097
218	22,746	0,0097
219	22,841	0,0095
220	22,936	0,0095
221	23,03	0,0094
222	23,124	0,0094
223	23,216	0,0092
224	23,308	0,0092
225	23,399	0,0091
226	23,49	0,0091
227	23,579	0,0089
228	23,668	0,0089
229	23,755	0,0087

230	23,842	0,0087
231	23,928	0,0086
232	24,014	0,0086
233	24,098	0,0084
234	24,181	0,0083
235	24,264	0,0083
236	24,345	0,0081
237	24,426	0,0081
238	24,505	0,0079
239	24,584	0,0079
240	24,662	0,0078
241	24,738	0,0076
242	24,814	0,0076
243	24,888	0,0074
244	24,961	0,0073
245	25,033	0,0072
246	25,104	0,0071
247	25,174	0,007
248	25,242	0,0068
249	25,31	0,0068
250	25,375	0,0065
251	25,44	0,0065
252	25,503	0,0063
253	25,565	0,0062
254	25,626	0,0061
255	25,685	0,0059
256	25,742	0,0057
257	25,798	0,0056
258	25,852	0,0054

Таблиця Б.7. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м ³	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,095747	0,009575
1	0,129993	0,003425
2	0,16718	0,003719
3	0,206824	0,003964
4	0,24858	0,004176
5	0,292335	0,004376
6	0,337999	0,004566
7	0,385486	0,004749
8	0,434756	0,004927
9	0,485731	0,005097

10	0,538395	0,005266
11	0,5927	0,00543
12	0,648621	0,005592
13	0,706115	0,005749
14	0,765146	0,005903
15	0,825675	0,006053
16	0,887659	0,006198
17	0,95104	0,006338
18	1,015774	0,006473
19	1,081853	0,006608
20	1,149208	0,006735
21	1,217845	0,006864
22	1,287725	0,006988

23	1,358812	0,007109
24	1,431079	0,007227
25	1,504473	0,007339
26	1,57901	0,007454
27	1,654657	0,007565
28	1,731381	0,007672
29	1,80916	0,007778
30	1,887984	0,007882
31	1,967811	0,007983
32	2,048656	0,008085
33	2,130491	0,008183
34	2,213304	0,008281
35	2,297075	0,008377
36	2,381791	0,008472
37	2,467446	0,008565
38	2,553992	0,008655
39	2,641424	0,008743
40	2,729732	0,008831
41	2,818905	0,008917
42	2,908919	0,009001
43	2,999744	0,009083
44	3,091387	0,009164
45	3,183827	0,009244
46	3,277051	0,009322
47	3,371036	0,009398
48	3,465779	0,009474
49	3,561247	0,009547
50	3,657441	0,009619
51	3,75438	0,009694
52	3,852002	0,009762
53	3,950327	0,009832
54	4,049317	0,009899
55	4,148992	0,009967
56	4,249329	0,010034
57	4,350322	0,010099
58	4,451964	0,010164
59	4,554205	0,010224
60	4,657134	0,010293
61	4,760683	0,010355
62	4,864847	0,010416
63	4,969567	0,010472
64	5,074849	0,010528
65	5,180705	0,010586
66	5,287109	0,01064
67	5,394061	0,010695
68	5,501543	0,010748
69	5,609557	0,010801
70	5,718104	0,010855

71	5,827153	0,010905
72	5,936705	0,010955
73	6,046751	0,011005
74	6,157278	0,011053
75	6,268278	0,0111
76	6,379743	0,011147
77	6,491682	0,011194
78	6,604067	0,011238
79	6,716924	0,011286
80	6,830224	0,01133
81	6,943956	0,011373
82	7,058141	0,011418
83	7,172747	0,011461
84	7,287787	0,011504
85	7,403231	0,011544
86	7,519135	0,01159
87	7,635433	0,01163
88	7,752107	0,011667
89	7,869174	0,011707
90	7,986593	0,011742
91	8,104373	0,011778
92	8,222479	0,011811
93	8,340893	0,011841
94	8,459616	0,011872
95	8,578643	0,011903
96	8,697956	0,011931
97	8,81755	0,011959
98	8,93741	0,011986
99	9,057585	0,012018
100	9,178031	0,012045
101	9,29873	0,01207
102	9,41971	0,012098
103	9,540958	0,012125
104	9,662458	0,01215
105	9,784185	0,012173
106	9,906139	0,012195
107	10,02835	0,012221
108	10,15076	0,012242
109	10,27337	0,012261
110	10,39619	0,012282
111	10,51923	0,012304
112	10,64247	0,012324
113	10,76589	0,012342
114	10,8895	0,012361
115	11,01328	0,012378
116	11,13723	0,012394
117	11,26127	0,012404
118	11,38552	0,012425

119	11,50995	0,012444
120	11,63453	0,012458
121	11,75926	0,012472
122	11,88411	0,012485
123	12,00909	0,012499
124	12,13414	0,012505
125	12,25937	0,012523
126	12,38472	0,012535
127	12,51017	0,012546
128	12,63574	0,012557
129	12,76139	0,012565
130	12,88713	0,012574
131	13,01291	0,012578
132	13,13873	0,012582
133	13,26455	0,012582
134	13,39036	0,012581
135	13,51618	0,012582
136	13,64195	0,012577
137	13,76765	0,01257
138	13,89325	0,01256
139	14,01875	0,01255
140	14,14416	0,012541
141	14,26944	0,012528
142	14,39457	0,012513
143	14,51948	0,01249
144	14,6443	0,012482
145	14,76904	0,012474
146	14,89361	0,012457
147	15,01803	0,012443
148	15,14232	0,012429
149	15,26643	0,012411
150	15,39043	0,012399
151	15,51428	0,012385
152	15,63794	0,012366
153	15,76142	0,012349
154	15,88474	0,012331
155	16,00788	0,012315
156	16,13085	0,012297
157	16,25363	0,012278
158	16,37621	0,012258
159	16,49856	0,012235
160	16,62067	0,012211
161	16,74258	0,012191
162	16,86426	0,012169
163	16,98572	0,012146
164	17,10694	0,012122
165	17,22792	0,012098
166	17,34865	0,012072

167	17,46911	0,012046
168	17,5893	0,01202
169	17,70922	0,011992
170	17,82886	0,011963
171	17,9482	0,011934
172	18,06724	0,011904
173	18,18596	0,011873
174	18,30436	0,01184
175	18,42244	0,011807
176	18,54017	0,011774
177	18,65756	0,011739
178	18,77459	0,011703
179	18,89125	0,011666
180	19,00754	0,011629
181	19,12347	0,011593
182	19,23898	0,011552
183	19,35413	0,011515
184	19,46886	0,011473
185	19,58319	0,011432
186	19,69707	0,011389
187	19,81053	0,011346
188	19,92358	0,011305
189	20,03613	0,011255
190	20,14826	0,011213
191	20,25986	0,01116
192	20,37077	0,011091
193	20,48073	0,010996
194	20,59086	0,011013
195	20,70064	0,010978
196	20,8095	0,010886
197	20,91799	0,010849
198	21,02609	0,01081
199	21,13384	0,010775
200	21,24106	0,010722
201	21,34774	0,010667
202	21,45387	0,010613
203	21,55941	0,010555
204	21,66436	0,010495
205	21,76871	0,010435
206	21,87243	0,010372
207	21,97554	0,010311
208	22,078	0,010245
209	22,17977	0,010178
210	22,28089	0,010112
211	22,38133	0,010044
212	22,48108	0,009975
213	22,58012	0,009904
214	22,67843	0,009831

215	22,77601	0,009758
216	22,87287	0,009686
217	22,96897	0,009611
218	23,06432	0,009535
219	23,1589	0,009458
220	23,25271	0,009381
221	23,34573	0,009302
222	23,43795	0,009222
223	23,52937	0,009142
224	23,61997	0,00906
225	23,70973	0,008976
226	23,79864	0,008891
227	23,88669	0,008805
228	23,97386	0,008717
229	24,06014	0,008628
230	24,14552	0,008538
231	24,22999	0,008447
232	24,31353	0,008354
233	24,39614	0,008261
234	24,47779	0,008165
235	24,55845	0,008066
236	24,63811	0,007966
237	24,71674	0,007863
238	24,79436	0,007762
239	24,87091	0,007655
240	24,94639	0,007548
241	25,02076	0,007437

242	25,094	0,007324
243	25,16607	0,007207
244	25,23695	0,007087
245	25,3066	0,006965
246	25,37499	0,006839
247	25,4421	0,006711
248	25,50791	0,006581
249	25,57238	0,006446
250	25,63547	0,006309
251	25,69715	0,006168
252	25,75739	0,006024
253	25,81615	0,005876
254	25,87338	0,005723
255	25,92903	0,005565
256	25,98306	0,005402
257	26,03539	0,005234
258	26,08597	0,005058
259	26,13475	0,004878
260	26,18165	0,004689
261	26,22656	0,004492
262	26,26945	0,004288
263	26,31018	0,004073
264	26,34852	0,003834
265	26,38408	0,003555
266	26,41654	0,003247
267	26,44558	0,002904

Таблиця Б.8. Градувальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м ³	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,09	0,009
1	0,124	0,0034
2	0,161	0,0037
3	0,201	0,004
4	0,243	0,0042
5	0,287	0,0044
6	0,333	0,0046
7	0,38	0,0047
8	0,429	0,0049
9	0,481	0,0052
10	0,534	0,0053
11	0,589	0,0055
12	0,646	0,0057

13	0,704	0,0058
14	0,763	0,0059
15	0,824	0,0061
16	0,887	0,0063
17	0,951	0,0064
18	1,016	0,0065
19	1,082	0,0066
20	1,149	0,0067
21	1,218	0,0069
22	1,289	0,0071
23	1,36	0,0071
24	1,433	0,0073
25	1,507	0,0074
26	1,582	0,0075
27	1,658	0,0076
28	1,735	0,0077

29	1,813	0,0078
30	1,892	0,0079
31	1,973	0,0081
32	2,054	0,0081
33	2,135	0,0081
34	2,218	0,0083
35	2,302	0,0084
36	2,387	0,0085
37	2,473	0,0086
38	2,56	0,0087
39	2,648	0,0088
40	2,737	0,0089
41	2,826	0,0089
42	2,916	0,009
43	3,007	0,0091
44	3,099	0,0092
45	3,191	0,0092
46	3,284	0,0093
47	3,379	0,0095
48	3,474	0,0095
49	3,569	0,0095
50	3,666	0,0097
51	3,763	0,0097
52	3,861	0,0098
53	3,959	0,0098
54	4,059	0,01
55	4,159	0,01
56	4,259	0,01
57	4,36	0,0101
58	4,461	0,0101
59	4,564	0,0103
60	4,667	0,0103
61	4,771	0,0104
62	4,875	0,0104
63	4,98	0,0105
64	5,086	0,0106
65	5,192	0,0106
66	5,298	0,0106
67	5,405	0,0107
68	5,513	0,0108
69	5,621	0,0108
70	5,73	0,0109
71	5,838	0,0108
72	5,948	0,011
73	6,058	0,011
74	6,169	0,0111
75	6,28	0,0111
76	6,392	0,0112

77	6,504	0,0112
78	6,616	0,0112
79	6,729	0,0113
80	6,843	0,0114
81	6,957	0,0114
82	7,071	0,0114
83	7,186	0,0115
84	7,3	0,0114
85	7,416	0,0116
86	7,532	0,0116
87	7,648	0,0116
88	7,765	0,0117
89	7,882	0,0117
90	7,999	0,0117
91	8,117	0,0118
92	8,235	0,0118
93	8,354	0,0119
94	8,473	0,0119
95	8,592	0,0119
96	8,711	0,0119
97	8,83	0,0119
98	8,95	0,012
99	9,07	0,012
100	9,19	0,012
101	9,311	0,0121
102	9,432	0,0121
103	9,553	0,0121
104	9,675	0,0122
105	9,797	0,0122
106	9,919	0,0122
107	10,041	0,0122
108	10,163	0,0122
109	10,285	0,0122
110	10,408	0,0123
111	10,531	0,0123
112	10,654	0,0123
113	10,777	0,0123
114	10,901	0,0124
115	11,025	0,0124
116	11,148	0,0123
117	11,272	0,0124
118	11,397	0,0125
119	11,521	0,0124
120	11,645	0,0124
121	11,77	0,0125
122	11,894	0,0124
123	12,018	0,0124
124	12,143	0,0125

125	12,268	0,0125
126	12,393	0,0125
127	12,518	0,0125
128	12,644	0,0126
129	12,769	0,0125
130	12,894	0,0125
131	13,019	0,0125
132	13,145	0,0126
133	13,27	0,0125
134	13,395	0,0125
135	13,52	0,0125
136	13,645	0,0125
137	13,77	0,0125
138	13,895	0,0125
139	14,021	0,0126
140	14,146	0,0125
141	14,271	0,0125
142	14,395	0,0124
143	14,52	0,0125
144	14,645	0,0125
145	14,769	0,0124
146	14,894	0,0125
147	15,018	0,0124
148	15,141	0,0123
149	15,265	0,0124
150	15,389	0,0124
151	15,512	0,0123
152	15,636	0,0124
153	15,759	0,0123
154	15,882	0,0123
155	16,005	0,0123
156	16,128	0,0123
157	16,25	0,0122
158	16,373	0,0123
159	16,495	0,0122
160	16,617	0,0122
161	16,737	0,012
162	16,859	0,0122
163	16,98	0,0121
164	17,101	0,0121
165	17,221	0,012
166	17,342	0,0121
167	17,462	0,012
168	17,581	0,0119
169	17,701	0,012
170	17,82	0,0119
171	17,939	0,0119
172	18,058	0,0119

173	18,175	0,0117
174	18,293	0,0118
175	18,411	0,0118
176	18,528	0,0117
177	18,645	0,0117
178	18,762	0,0117
179	18,878	0,0116
180	18,994	0,0116
181	19,109	0,0115
182	19,225	0,0116
183	19,339	0,0114
184	19,454	0,0115
185	19,568	0,0114
186	19,68	0,0112
187	19,794	0,0114
188	19,906	0,0112
189	20,019	0,0113
190	20,13	0,0111
191	20,242	0,0112
192	20,353	0,0111
193	20,463	0,011
194	20,574	0,0111
195	20,683	0,0109
196	20,792	0,0109
197	20,901	0,0109
198	21,009	0,0108
199	21,115	0,0106
200	21,222	0,0107
201	21,328	0,0106
202	21,434	0,0106
203	21,539	0,0105
204	21,643	0,0104
205	21,747	0,0104
206	21,85	0,0103
207	21,953	0,0103
208	22,054	0,0101
209	22,156	0,0102
210	22,256	0,01
211	22,356	0,01
212	22,454	0,0098
213	22,552	0,0098
214	22,65	0,0098
215	22,747	0,0097
216	22,843	0,0096
217	22,938	0,0095
218	23,033	0,0095
219	23,127	0,0094
220	23,22	0,0093

221	23,313	0,0093
222	23,404	0,0091
223	23,495	0,0091
224	23,585	0,009
225	23,673	0,0088
226	23,761	0,0088
227	23,849	0,0088
228	23,935	0,0086
229	24,021	0,0086
230	24,105	0,0084
231	24,189	0,0084
232	24,272	0,0083
233	24,354	0,0082
234	24,435	0,0081
235	24,515	0,008
236	24,594	0,0079
237	24,671	0,0077
238	24,748	0,0077

239	24,823	0,0075
240	24,898	0,0075
241	24,972	0,0074
242	25,044	0,0072
243	25,115	0,0071
244	25,185	0,007
245	25,254	0,0069
246	25,321	0,0067
247	25,388	0,0067
248	25,453	0,0065
249	25,516	0,0063
250	25,577	0,0061
251	25,638	0,0061
252	25,697	0,0059
253	25,755	0,0058
254	25,811	0,0056
255	25,866	0,0055
256	25,919	0,0053

Таблиця Б.9. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,01624	0,001624
1	0,030111	0,001387
2	0,048909	0,00188
3	0,073515	0,002461
4	0,103899	0,003038
5	0,137771	0,003387
6	0,174512	0,003674
7	0,213831	0,003932
8	0,255428	0,00416
9	0,299068	0,004364
10	0,344685	0,004562
11	0,392201	0,004752
12	0,441537	0,004934
13	0,492618	0,005108
14	0,545407	0,005279
15	0,599844	0,005444
16	0,655883	0,005604
17	0,713472	0,005759
18	0,772592	0,005912
19	0,833186	0,006059
20	0,895237	0,006205

21	0,958687	0,006345
22	1,023505	0,006482
23	1,089647	0,006614
24	1,157101	0,006745
25	1,225845	0,006874
26	1,29583	0,006999
27	1,367045	0,007121
28	1,439447	0,00724
29	1,513025	0,007358
30	1,587742	0,007472
31	1,663571	0,007583
32	1,740496	0,007692
33	1,818489	0,007799
34	1,897522	0,007903
35	1,977568	0,008005
36	2,058629	0,008106
37	2,140665	0,008204
38	2,223677	0,008301
39	2,307624	0,008395
40	2,392478	0,008485
41	2,47825	0,008577
42	2,564907	0,008666
43	2,652438	0,008753
44	2,740829	0,008839

45	2,83004	0,008921
46	2,92009	0,009005
47	3,010944	0,009085
48	3,102602	0,009166
49	3,195053	0,009245
50	3,288283	0,009323
51	3,382278	0,0094
52	3,47705	0,009477
53	3,572596	0,009555
54	3,668877	0,009628
55	3,765856	0,009698
56	3,863539	0,009768
57	3,961904	0,009836
58	4,060936	0,009903
59	4,160632	0,00997
60	4,260966	0,010033
61	4,361944	0,010098
62	4,463561	0,010162
63	4,565802	0,010224
64	4,668657	0,010285
65	4,772141	0,010348
66	4,876219	0,010408
67	4,98089	0,010467
68	5,086145	0,010525
69	5,191973	0,010583
70	5,298356	0,010638
71	5,405312	0,010696
72	5,512808	0,01075
73	5,620848	0,010804
74	5,729424	0,010858
75	5,838519	0,010909
76	5,948138	0,010962
77	6,05825	0,011011
78	6,168871	0,011062
79	6,27998	0,011111
80	6,391586	0,011161
81	6,50366	0,011207
82	6,616206	0,011255
83	6,729201	0,011299
84	6,84261	0,011341
85	6,956425	0,011381
86	7,070648	0,011422
87	7,185244	0,01146
88	7,300231	0,011499
89	7,415599	0,011537
90	7,531334	0,011573
91	7,647429	0,01161
92	7,763903	0,011647

93	7,880733	0,011683
94	7,997916	0,011718
95	8,115444	0,011753
96	8,233287	0,011784
97	8,351455	0,011817
98	8,469971	0,011852
99	8,588785	0,011881
100	8,707921	0,011914
101	8,827332	0,011941
102	8,947054	0,011972
103	9,067042	0,011999
104	9,187336	0,012029
105	9,307887	0,012055
106	9,428721	0,012083
107	9,549793	0,012107
108	9,671114	0,012132
109	9,792662	0,012155
110	9,91447	0,012181
111	10,03652	0,012205
112	10,15878	0,012227
113	10,28127	0,012249
114	10,40394	0,012267
115	10,52682	0,012288
116	10,6499	0,012308
117	10,7732	0,012329
118	10,89667	0,012348
119	11,02031	0,012364
120	11,14412	0,012381
121	11,26808	0,012396
122	11,39222	0,012413
123	11,51648	0,012426
124	11,64088	0,012441
125	11,76544	0,012456
126	11,8901	0,012466
127	12,01489	0,01248
128	12,13975	0,012486
129	12,2647	0,012495
130	12,38975	0,012505
131	12,51485	0,012511
132	12,64006	0,012521
133	12,76529	0,012522
134	12,89054	0,012526
135	13,0158	0,012526
136	13,14108	0,012527
137	13,26637	0,012529
138	13,39165	0,012528
139	13,51696	0,012531
140	13,64224	0,012528

141	13,76747	0,012523
142	13,89265	0,012518
143	14,01777	0,012512
144	14,1428	0,012503
145	14,26777	0,012497
146	14,39264	0,012487
147	14,51745	0,012481
148	14,64214	0,012469
149	14,7667	0,012456
150	14,89114	0,012444
151	15,0154	0,012426
152	15,13948	0,012408
153	15,2634	0,012392
154	15,38715	0,012375
155	15,51072	0,012356
156	15,63413	0,012341
157	15,75733	0,012321
158	15,88032	0,012299
159	16,0031	0,012278
160	16,12568	0,012257
161	16,24802	0,012234
162	16,3701	0,012208
163	16,49181	0,012171
164	16,61322	0,012141
165	16,7343	0,012108
166	16,85514	0,012084
167	16,97534	0,01202
168	17,09469	0,011935
169	17,21379	0,011911
170	17,33096	0,011717
171	17,44895	0,011798
172	17,56776	0,011881
173	17,68647	0,011871
174	17,80519	0,011872
175	17,92374	0,011855
176	18,04189	0,011815
177	18,15981	0,011792
178	18,27746	0,011766
179	18,39483	0,011737
180	18,51184	0,0117
181	18,62857	0,011673
182	18,74494	0,011637
183	18,86095	0,011601
184	18,97658	0,011563
185	19,09189	0,011531
186	19,20681	0,011492
187	19,32136	0,011455
188	19,4355	0,011414

189	19,54922	0,011371
190	19,66253	0,011332
191	19,77548	0,011295
192	19,888	0,011252
193	20,00009	0,011209
194	20,1117	0,01116
195	20,22292	0,011123
196	20,3337	0,011078
197	20,44401	0,01103
198	20,5538	0,010979
199	20,66307	0,010926
200	20,77189	0,010882
201	20,88022	0,010833
202	20,98804	0,010782
203	21,09535	0,01073
204	21,20216	0,010682
205	21,30845	0,010628
206	21,41416	0,010572
207	21,51932	0,010515
208	21,6239	0,010458
209	21,72793	0,010404
210	21,83142	0,010349
211	21,93431	0,010289
212	22,03655	0,010224
213	22,13815	0,01016
214	22,23907	0,010092
215	22,33932	0,010025
216	22,43889	0,009957
217	22,53776	0,009887
218	22,63589	0,009813
219	22,73329	0,00974
220	22,82997	0,009668
221	22,92592	0,009595
222	23,0211	0,009518
223	23,11549	0,009439
224	23,20913	0,009364
225	23,30197	0,009284
226	23,39401	0,009204
227	23,48523	0,009121
228	23,57564	0,009041
229	23,66526	0,008962
230	23,75402	0,008877
231	23,84194	0,008792
232	23,929	0,008706
233	24,01519	0,008619
234	24,10048	0,008529
235	24,18485	0,008437
236	24,26829	0,008344

237	24,35082	0,008253
238	24,43238	0,008156
239	24,51293	0,008055
240	24,5925	0,007957
241	24,67099	0,007849
242	24,74845	0,007746
243	24,82494	0,007649
244	24,90035	0,007541
245	24,97469	0,007434
246	25,04791	0,007322
247	25,12	0,00721
248	25,19093	0,007093
249	25,2607	0,006976
250	25,32923	0,006853

251	25,39652	0,006729
252	25,46256	0,006604
253	25,5273	0,006474
254	25,59072	0,006342
255	25,65281	0,006209
256	25,71352	0,006071
257	25,7728	0,005928
258	25,8306	0,00578
259	25,88681	0,005622
260	25,94141	0,00546
261	25,9943	0,005289
262	26,04541	0,005111
263	26,09465	0,004924
263	26,13261	

Таблиця Б.10. Градувальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,014	0,0014
1	0,031	0,0017
2	0,054	0,0023
3	0,081	0,0027
4	0,113	0,0032
5	0,148	0,0035
6	0,187	0,0039
7	0,227	0,004
8	0,27	0,0043
9	0,315	0,0045
10	0,362	0,0047
11	0,411	0,0049
12	0,462	0,0051
13	0,515	0,0053
14	0,569	0,0054
15	0,624	0,0055
16	0,682	0,0058
17	0,741	0,0059
18	0,801	0,006
19	0,863	0,0062
20	0,925	0,0062
21	0,99	0,0065
22	1,056	0,0066
23	1,123	0,0067
24	1,192	0,0069

25	1,261	0,0069
26	1,333	0,0072
27	1,405	0,0072
28	1,478	0,0073
29	1,553	0,0075
30	1,628	0,0075
31	1,705	0,0077
32	1,783	0,0078
33	1,861	0,0078
34	1,941	0,008
35	2,022	0,0081
36	2,103	0,0081
37	2,186	0,0083
38	2,27	0,0084
39	2,355	0,0085
40	2,44	0,0085
41	2,527	0,0087
42	2,614	0,0087
43	2,702	0,0088
44	2,791	0,0089
45	2,881	0,009
46	2,971	0,009
47	3,063	0,0092
48	3,155	0,0092
49	3,248	0,0093
50	3,342	0,0094
51	3,437	0,0095
52	3,532	0,0095

53	3,628	0,0096
54	3,725	0,0097
55	3,823	0,0098
56	3,921	0,0098
57	4,02	0,0099
58	4,12	0,01
59	4,219	0,0099
60	4,32	0,0101
61	4,421	0,0101
62	4,523	0,0102
63	4,626	0,0103
64	4,73	0,0104
65	4,834	0,0104
66	4,938	0,0104
67	5,043	0,0105
68	5,149	0,0106
69	5,255	0,0106
70	5,362	0,0107
71	5,469	0,0107
72	5,576	0,0107
73	5,685	0,0109
74	5,794	0,0109
75	5,903	0,0109
76	6,013	0,011
77	6,124	0,0111
78	6,235	0,0111
79	6,346	0,0111
80	6,458	0,0112
81	6,571	0,0113
82	6,684	0,0113
83	6,797	0,0113
84	6,911	0,0114
85	7,024	0,0113
86	7,138	0,0114
87	7,253	0,0115
88	7,369	0,0116
89	7,484	0,0115
90	7,6	0,0116
91	7,717	0,0117
92	7,834	0,0117
93	7,951	0,0117
94	8,068	0,0117
95	8,186	0,0118
96	8,304	0,0118
97	8,423	0,0119
98	8,541	0,0118
99	8,66	0,0119
100	8,779	0,0119

101	8,899	0,012
102	9,019	0,012
103	9,139	0,012
104	9,26	0,0121
105	9,381	0,0121
106	9,502	0,0121
107	9,623	0,0121
108	9,745	0,0122
109	9,867	0,0122
110	9,989	0,0122
111	10,11	0,0121
112	10,232	0,0122
113	10,355	0,0123
114	10,478	0,0123
115	10,601	0,0123
116	10,724	0,0123
117	10,848	0,0124
118	10,971	0,0123
119	11,095	0,0124
120	11,219	0,0124
121	11,343	0,0124
122	11,467	0,0124
123	11,592	0,0125
124	11,715	0,0123
125	11,84	0,0125
126	11,965	0,0125
127	12,089	0,0124
128	12,214	0,0125
129	12,339	0,0125
130	12,464	0,0125
131	12,589	0,0125
132	12,714	0,0125
133	12,839	0,0125
134	12,964	0,0125
135	13,09	0,0126
136	13,214	0,0124
137	13,339	0,0125
138	13,464	0,0125
139	13,589	0,0125
140	13,714	0,0125
141	13,839	0,0125
142	13,964	0,0125
143	14,089	0,0125
144	14,213	0,0124
145	14,338	0,0125
146	14,463	0,0125
147	14,587	0,0124
148	14,712	0,0125

149	14,835	0,0123
150	14,959	0,0124
151	15,083	0,0124
152	15,207	0,0124
153	15,33	0,0123
154	15,454	0,0124
155	15,577	0,0123
156	15,7	0,0123
157	15,823	0,0123
158	15,946	0,0123
159	16,068	0,0122
160	16,19	0,0122
161	16,312	0,0122
162	16,433	0,0121
163	16,555	0,0122
164	16,676	0,0121
165	16,797	0,0121
166	16,918	0,0121
167	17,039	0,0121
168	17,159	0,012
169	17,279	0,012
170	17,399	0,012
171	17,518	0,0119
172	17,637	0,0119
173	17,756	0,0119
174	17,874	0,0118
175	17,992	0,0118
176	18,11	0,0118
177	18,227	0,0117
178	18,344	0,0117
179	18,461	0,0117
180	18,578	0,0117
181	18,694	0,0116
182	18,809	0,0115
183	18,925	0,0116
184	19,04	0,0115
185	19,155	0,0115
186	19,269	0,0114
187	19,383	0,0114
188	19,495	0,0112
189	19,608	0,0113
190	19,721	0,0113
191	19,833	0,0112
192	19,945	0,0112
193	20,056	0,0111
194	20,167	0,0111
195	20,277	0,011
196	20,387	0,011

197	20,497	0,011
198	20,606	0,0109
199	20,714	0,0108
200	20,823	0,0109
201	20,929	0,0106
202	21,036	0,0107
203	21,143	0,0107
204	21,249	0,0106
205	21,354	0,0105
206	21,459	0,0105
207	21,563	0,0104
208	21,667	0,0104
209	21,77	0,0103
210	21,873	0,0103
211	21,975	0,0102
212	22,076	0,0101
213	22,176	0,01
214	22,275	0,0099
215	22,374	0,0099
216	22,473	0,0099
217	22,571	0,0098
218	22,668	0,0097
219	22,764	0,0096
220	22,859	0,0095
221	22,954	0,0095
222	23,048	0,0094
223	23,141	0,0093
224	23,234	0,0093
225	23,325	0,0091
226	23,416	0,0091
227	23,505	0,0089
228	23,594	0,0089
229	23,683	0,0089
230	23,77	0,0087
231	23,856	0,0086
232	23,942	0,0086
233	24,027	0,0085
234	24,111	0,0084
235	24,194	0,0083
236	24,276	0,0082
237	24,357	0,0081
238	24,437	0,008
239	24,516	0,0079
240	24,593	0,0077
241	24,67	0,0077
242	24,746	0,0076
243	24,821	0,0075
244	24,894	0,0073

245	24,967	0,0073
246	25,039	0,0072
247	25,109	0,007
248	25,178	0,0069
249	25,246	0,0068
250	25,313	0,0067
251	25,379	0,0066
252	25,443	0,0064

253	25,505	0,0062
254	25,567	0,0062
255	25,627	0,006
256	25,685	0,0058
257	25,743	0,0058
258	25,798	0,0055
259	25,852	0,0054

Таблиця Б.11. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м ³	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,01624	0,001624
1	0,030111	0,001387
2	0,048909	0,00188
3	0,073515	0,002461
4	0,103899	0,003038
5	0,137771	0,003387
6	0,174512	0,003674
7	0,213831	0,003932
8	0,255428	0,00416
9	0,299068	0,004364
10	0,344685	0,004562
11	0,392201	0,004752
12	0,441537	0,004934
13	0,492618	0,005108
14	0,545407	0,005279
15	0,599844	0,005444
16	0,655883	0,005604
17	0,713472	0,005759
18	0,772592	0,005912
19	0,833186	0,006059
20	0,895237	0,006205
21	0,958687	0,006345
22	1,023505	0,006482
23	1,089647	0,006614
24	1,157101	0,006745
25	1,225845	0,006874
26	1,29583	0,006999
27	1,367045	0,007121
28	1,439447	0,00724
29	1,513025	0,007358
30	1,587742	0,007472
31	1,663571	0,007583

32	1,740496	0,007692
33	1,818489	0,007799
34	1,897522	0,007903
35	1,977568	0,008005
36	2,058629	0,008106
37	2,140665	0,008204
38	2,223677	0,008301
39	2,307624	0,008395
40	2,392478	0,008485
41	2,47825	0,008577
42	2,564907	0,008666
43	2,652438	0,008753
44	2,740829	0,008839
45	2,83004	0,008921
46	2,92009	0,009005
47	3,010944	0,009085
48	3,102602	0,009166
49	3,195053	0,009245
50	3,288283	0,009323
51	3,382278	0,0094
52	3,47705	0,009477
53	3,572596	0,009555
54	3,668877	0,009628
55	3,765856	0,009698
56	3,863539	0,009768
57	3,961904	0,009836
58	4,060936	0,009903
59	4,160632	0,00997
60	4,260966	0,010033
61	4,361944	0,010098
62	4,463561	0,010162
63	4,565802	0,010224
64	4,668657	0,010285
65	4,772141	0,010348
66	4,876219	0,010408

67	4,98089	0,010467
68	5,086145	0,010525
69	5,191973	0,010583
70	5,298356	0,010638
71	5,405312	0,010696
72	5,512808	0,01075
73	5,620848	0,010804
74	5,729424	0,010858
75	5,838519	0,010909
76	5,948138	0,010962
77	6,05825	0,011011
78	6,168871	0,011062
79	6,27998	0,011111
80	6,391586	0,011161
81	6,50366	0,011207
82	6,616206	0,011255
83	6,729201	0,011299
84	6,84261	0,011341
85	6,956425	0,011381
86	7,070648	0,011422
87	7,185244	0,01146
88	7,300231	0,011499
89	7,415599	0,011537
90	7,531334	0,011573
91	7,647429	0,01161
92	7,763903	0,011647
93	7,880733	0,011683
94	7,997916	0,011718
95	8,115444	0,011753
96	8,233287	0,011784
97	8,351455	0,011817
98	8,469971	0,011852
99	8,588785	0,011881
100	8,707921	0,011914
101	8,827332	0,011941
102	8,947054	0,011972
103	9,067042	0,011999
104	9,187336	0,012029
105	9,307887	0,012055
106	9,428721	0,012083
107	9,549793	0,012107
108	9,671114	0,012132
109	9,792662	0,012155
110	9,91447	0,012181
111	10,03652	0,012205
112	10,15878	0,012227
113	10,28127	0,012249
114	10,40394	0,012267

115	10,52682	0,012288
116	10,6499	0,012308
117	10,7732	0,012329
118	10,89667	0,012348
119	11,02031	0,012364
120	11,14412	0,012381
121	11,26808	0,012396
122	11,39222	0,012413
123	11,51648	0,012426
124	11,64088	0,012441
125	11,76544	0,012456
126	11,8901	0,012466
127	12,01489	0,01248
128	12,13975	0,012486
129	12,2647	0,012495
130	12,38975	0,012505
131	12,51485	0,012511
132	12,64006	0,012521
133	12,76529	0,012522
134	12,89054	0,012526
135	13,0158	0,012526
136	13,14108	0,012527
137	13,26637	0,012529
138	13,39165	0,012528
139	13,51696	0,012531
140	13,64224	0,012528
141	13,76747	0,012523
142	13,89265	0,012518
143	14,01777	0,012512
144	14,1428	0,012503
145	14,26777	0,012497
146	14,39264	0,012487
147	14,51745	0,012481
148	14,64214	0,012469
149	14,7667	0,012456
150	14,89114	0,012444
151	15,0154	0,012426
152	15,13948	0,012408
153	15,2634	0,012392
154	15,38715	0,012375
155	15,51072	0,012356
156	15,63413	0,012341
157	15,75733	0,012321
158	15,88032	0,012299
159	16,0031	0,012278
160	16,12568	0,012257
161	16,24802	0,012234
162	16,3701	0,012208

163	16,49181	0,012171
164	16,61322	0,012141
165	16,7343	0,012108
166	16,85514	0,012084
167	16,97534	0,01202
168	17,09469	0,011935
169	17,21379	0,011911
170	17,33096	0,011717
171	17,44895	0,011798
172	17,56776	0,011881
173	17,68647	0,011871
174	17,80519	0,011872
175	17,92374	0,011855
176	18,04189	0,011815
177	18,15981	0,011792
178	18,27746	0,011766
179	18,39483	0,011737
180	18,51184	0,0117
181	18,62857	0,011673
182	18,74494	0,011637
183	18,86095	0,011601
184	18,97658	0,011563
185	19,09189	0,011531
186	19,20681	0,011492
187	19,32136	0,011455
188	19,4355	0,011414
189	19,54922	0,011371
190	19,66253	0,011332
191	19,77548	0,011295
192	19,888	0,011252
193	20,00009	0,011209
194	20,1117	0,01116
195	20,22292	0,011123
196	20,3337	0,011078
197	20,44401	0,01103
198	20,5538	0,010979
199	20,66307	0,010926
200	20,77189	0,010882
201	20,88022	0,010833
202	20,98804	0,010782
203	21,09535	0,01073
204	21,20216	0,010682
205	21,30845	0,010628
206	21,41416	0,010572
207	21,51932	0,010515
208	21,6239	0,010458
209	21,72793	0,010404
210	21,83142	0,010349

211	21,93431	0,010289
212	22,03655	0,010224
213	22,13815	0,01016
214	22,23907	0,010092
215	22,33932	0,010025
216	22,43889	0,009957
217	22,53776	0,009887
218	22,63589	0,009813
219	22,73329	0,00974
220	22,82997	0,009668
221	22,92592	0,009595
222	23,0211	0,009518
223	23,11549	0,009439
224	23,20913	0,009364
225	23,30197	0,009284
226	23,39401	0,009204
227	23,48523	0,009121
228	23,57564	0,009041
229	23,66526	0,008962
230	23,75402	0,008877
231	23,84194	0,008792
232	23,929	0,008706
233	24,01519	0,008619
234	24,10048	0,008529
235	24,18485	0,008437
236	24,26829	0,008344
237	24,35082	0,008253
238	24,43238	0,008156
239	24,51293	0,008055
240	24,5925	0,007957
241	24,67099	0,007849
242	24,74845	0,007746
243	24,82494	0,007649
244	24,90035	0,007541
245	24,97469	0,007434
246	25,04791	0,007322
247	25,12	0,00721
248	25,19093	0,007093
249	25,2607	0,006976
250	25,32923	0,006853
251	25,39652	0,006729
252	25,46256	0,006604
253	25,5273	0,006474
254	25,59072	0,006342
255	25,65281	0,006209
256	25,71352	0,006071
257	25,7728	0,005928
258	25,8306	0,00578

259	25,88681	0,005622
260	25,94141	0,00546
261	25,9943	0,005289

262	26,04541	0,005111
263	26,09465	0,004924
263	26,13261	

Таблиця Б.12. Градувальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м ³	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,024	0,0024
1	0,045	0,0021
2	0,072	0,0027
3	0,104	0,0032
4	0,14	0,0036
5	0,178	0,0038
6	0,22	0,0042
7	0,262	0,0042
8	0,307	0,0045
9	0,355	0,0048
10	0,404	0,0049
11	0,455	0,0051
12	0,507	0,0052
13	0,562	0,0055
14	0,617	0,0055
15	0,675	0,0058
16	0,734	0,0059
17	0,794	0,006
18	0,856	0,0062
19	0,919	0,0063
20	0,982	0,0063
21	1,048	0,0066
22	1,115	0,0067
23	1,184	0,0069
24	1,253	0,0069
25	1,324	0,0071
26	1,396	0,0072
27	1,469	0,0073
28	1,544	0,0075
29	1,619	0,0075
30	1,696	0,0077
31	1,773	0,0077
32	1,852	0,0079
33	1,931	0,0079
34	2,011	0,008
35	2,093	0,0082

36	2,176	0,0083
37	2,259	0,0083
38	2,344	0,0085
39	2,43	0,0086
40	2,516	0,0086
41	2,603	0,0087
42	2,691	0,0088
43	2,78	0,0089
44	2,87	0,009
45	2,961	0,0091
46	3,051	0,009
47	3,144	0,0093
48	3,237	0,0093
49	3,331	0,0094
50	3,425	0,0094
51	3,52	0,0095
52	3,616	0,0096
53	3,713	0,0097
54	3,811	0,0098
55	3,909	0,0098
56	4,008	0,0099
57	4,107	0,0099
58	4,207	0,01
59	4,307	0,01
60	4,409	0,0102
61	4,511	0,0102
62	4,613	0,0102
63	4,716	0,0103
64	4,82	0,0104
65	4,925	0,0105
66	5,03	0,0105
67	5,135	0,0105
68	5,241	0,0106
69	5,348	0,0107
70	5,455	0,0107
71	5,562	0,0107
72	5,67	0,0108
73	5,779	0,0109
74	5,888	0,0109

75	5,998	0,011
76	6,108	0,011
77	6,219	0,0111
78	6,33	0,0111
79	6,441	0,0111
80	6,553	0,0112
81	6,666	0,0113
82	6,779	0,0113
83	6,892	0,0113
84	7,005	0,0113
85	7,119	0,0114
86	7,234	0,0115
87	7,349	0,0115
88	7,464	0,0115
89	7,58	0,0116
90	7,696	0,0116
91	7,812	0,0116
92	7,929	0,0117
93	8,047	0,0118
94	8,164	0,0117
95	8,282	0,0118
96	8,401	0,0119
97	8,518	0,0117
98	8,637	0,0119
99	8,757	0,012
100	8,876	0,0119
101	8,996	0,012
102	9,117	0,0121
103	9,237	0,012
104	9,358	0,0121
105	9,479	0,0121
106	9,601	0,0122
107	9,722	0,0121
108	9,844	0,0122
109	9,966	0,0122
110	10,087	0,0121
111	10,21	0,0123
112	10,332	0,0122
113	10,455	0,0123
114	10,578	0,0123
115	10,701	0,0123
116	10,825	0,0124
117	10,948	0,0123
118	11,072	0,0124
119	11,195	0,0123
120	11,319	0,0124
121	11,443	0,0124
122	11,568	0,0125

123	11,691	0,0123
124	11,815	0,0124
125	11,94	0,0125
126	12,064	0,0124
127	12,189	0,0125
128	12,314	0,0125
129	12,438	0,0124
130	12,563	0,0125
131	12,688	0,0125
132	12,813	0,0125
133	12,938	0,0125
134	13,063	0,0125
135	13,188	0,0125
136	13,312	0,0124
137	13,436	0,0124
138	13,561	0,0125
139	13,686	0,0125
140	13,811	0,0125
141	13,935	0,0124
142	14,06	0,0125
143	14,185	0,0125
144	14,309	0,0124
145	14,434	0,0125
146	14,558	0,0124
147	14,682	0,0124
148	14,806	0,0124
149	14,929	0,0123
150	15,053	0,0124
151	15,177	0,0124
152	15,3	0,0123
153	15,424	0,0124
154	15,547	0,0123
155	15,67	0,0123
156	15,793	0,0123
157	15,916	0,0123
158	16,038	0,0122
159	16,161	0,0123
160	16,283	0,0122
161	16,405	0,0122
162	16,525	0,012
163	16,647	0,0122
164	16,768	0,0121
165	16,889	0,0121
166	17,01	0,0121
167	17,131	0,0121
168	17,251	0,012
169	17,371	0,012
170	17,491	0,012

171	17,61	0,0119
172	17,73	0,012
173	17,849	0,0119
174	17,967	0,0118
175	18,085	0,0118
176	18,203	0,0118
177	18,32	0,0117
178	18,438	0,0118
179	18,555	0,0117
180	18,672	0,0117
181	18,788	0,0116
182	18,904	0,0116
183	19,019	0,0115
184	19,135	0,0116
185	19,249	0,0114
186	19,364	0,0115
187	19,478	0,0114
188	19,59	0,0112
189	19,703	0,0113
190	19,816	0,0113
191	19,928	0,0112
192	20,04	0,0112
193	20,151	0,0111
194	20,262	0,0111
195	20,372	0,011
196	20,482	0,011
197	20,591	0,0109
198	20,699	0,0108
199	20,807	0,0108
200	20,914	0,0107
201	21,021	0,0107
202	21,127	0,0106
203	21,233	0,0106
204	21,338	0,0105
205	21,443	0,0105
206	21,547	0,0104
207	21,65	0,0103
208	21,753	0,0103
209	21,855	0,0102
210	21,957	0,0102
211	22,058	0,0101
212	22,158	0,01
213	22,257	0,0099
214	22,356	0,0099

215	22,454	0,0098
216	22,552	0,0098
217	22,649	0,0097
218	22,745	0,0096
219	22,841	0,0096
220	22,936	0,0095
221	23,03	0,0094
222	23,124	0,0094
223	23,216	0,0092
224	23,308	0,0092
225	23,4	0,0092
226	23,489	0,0089
227	23,579	0,009
228	23,667	0,0088
229	23,755	0,0088
230	23,843	0,0088
231	23,929	0,0086
232	24,014	0,0085
233	24,099	0,0085
234	24,182	0,0083
235	24,265	0,0083
236	24,346	0,0081
237	24,427	0,0081
238	24,507	0,008
239	24,584	0,0077
240	24,662	0,0078
241	24,738	0,0076
242	24,814	0,0076
243	24,888	0,0074
244	24,961	0,0073
245	25,033	0,0072
246	25,104	0,0071
247	25,173	0,0069
248	25,242	0,0069
249	25,309	0,0067
250	25,374	0,0065
251	25,438	0,0064
252	25,5	0,0062
253	25,561	0,0061
254	25,621	0,006
255	25,68	0,0059
256	25,736	0,0056
257	25,792	0,0056
258	25,845	0,0053

Таблиця Б.13. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,010798	0,00108
1	0,026839	0,001604
2	0,048985	0,002215
3	0,075486	0,00265
4	0,105323	0,002984
5	0,13809	0,003277
6	0,173457	0,003537
7	0,211245	0,003779
8	0,251316	0,004007
9	0,293542	0,004223
10	0,33783	0,004429
11	0,384109	0,004628
12	0,432276	0,004817
13	0,482268	0,004999
14	0,534009	0,005174
15	0,587469	0,005346
16	0,642568	0,00551
17	0,699283	0,005672
18	0,757556	0,005827
19	0,817341	0,005978
20	0,878585	0,006124
21	0,941254	0,006267
22	1,005296	0,006404
23	1,070673	0,006538
24	1,13736	0,006669
25	1,20531	0,006795
26	1,274499	0,006919
27	1,344902	0,00704
28	1,4165	0,00716
29	1,489245	0,007275
30	1,563127	0,007388
31	1,638119	0,007499
32	1,714192	0,007607
33	1,791337	0,007714
34	1,86955	0,007821
35	1,948795	0,007924
36	2,029048	0,008025
37	2,110298	0,008125
38	2,192529	0,008223
39	2,275708	0,008318
40	2,359825	0,008412
41	2,444865	0,008504

42	2,530813	0,008595
43	2,617628	0,008681
44	2,705305	0,008768
45	2,79383	0,008853
46	2,883203	0,008937
47	2,973396	0,009019
48	3,06439	0,009099
49	3,156145	0,009175
50	3,248672	0,009253
51	3,341957	0,009329
52	3,435986	0,009403
53	3,530725	0,009474
54	3,626162	0,009544
55	3,72232	0,009616
56	3,819173	0,009685
57	3,916683	0,009751
58	4,014861	0,009818
59	4,11369	0,009883
60	4,213129	0,009944
61	4,31325	0,010012
62	4,413988	0,010074
63	4,515387	0,01014
64	4,617435	0,010205
65	4,720043	0,010261
66	4,823215	0,010317
67	4,926886	0,010367
68	5,03113	0,010424
69	5,135922	0,010479
70	5,241246	0,010532
71	5,347093	0,010585
72	5,453468	0,010637
73	5,560255	0,010679
74	5,667597	0,010734
75	5,775378	0,010778
76	5,883742	0,010836
77	5,992588	0,010885
78	6,101875	0,010929
79	6,211597	0,010972
80	6,32177	0,011017
81	6,43255	0,011078
82	6,543718	0,011117
83	6,65533	0,011161
84	6,767421	0,011209
85	6,879912	0,011249
86	6,992826	0,011291

87	7,106207	0,011338
88	7,220079	0,011387
89	7,334366	0,011429
90	7,449104	0,011474
91	7,564238	0,011513
92	7,679788	0,011555
93	7,79578	0,011599
94	7,912094	0,011631
95	8,028724	0,011663
96	8,145647	0,011692
97	8,262876	0,011723
98	8,380487	0,011761
99	8,498383	0,01179
100	8,61658	0,01182
101	8,735096	0,011852
102	8,853916	0,011882
103	8,972994	0,011908
104	9,092388	0,011939
105	9,212045	0,011966
106	9,331984	0,011994
107	9,452167	0,012018
108	9,572621	0,012045
109	9,693318	0,01207
110	9,814268	0,012095
111	9,935462	0,012119
112	10,05688	0,012142
113	10,17852	0,012164
114	10,30036	0,012185
115	10,42244	0,012207
116	10,54471	0,012227
117	10,66718	0,012247
118	10,78985	0,012267
119	10,91268	0,012284
120	11,03572	0,012303
121	11,15891	0,012319
122	11,28226	0,012335
123	11,40577	0,012351
124	11,52943	0,012366
125	11,65322	0,012379
126	11,77712	0,01239
127	11,90119	0,012406
128	12,02538	0,012419
129	12,1497	0,012433
130	12,27413	0,012443
131	12,39866	0,012453
132	12,52327	0,012461
133	12,64797	0,012471
134	12,77276	0,012478

135	12,89759	0,012483
136	13,02246	0,012487
137	13,14736	0,01249
138	13,27226	0,012489
139	13,3971	0,012484
140	13,52185	0,012475
141	13,64655	0,01247
142	13,7712	0,012465
143	13,89571	0,012451
144	14,02011	0,01244
145	14,14443	0,012432
146	14,26856	0,012413
147	14,39253	0,012397
148	14,51629	0,012376
149	14,63989	0,01236
150	14,7633	0,012341
151	14,8865	0,012321
152	15,00957	0,012307
153	15,13243	0,012286
154	15,25499	0,012256
155	15,3774	0,012241
156	15,49953	0,012213
157	15,6215	0,012197
158	15,74306	0,012156
159	15,86456	0,01215
160	15,98569	0,012113
161	16,10651	0,012082
162	16,22702	0,012051
163	16,34733	0,012031
164	16,46736	0,012003
165	16,58723	0,011987
166	16,70675	0,011952
167	16,82592	0,011917
168	16,94442	0,01185
169	17,06245	0,011802
170	17,17939	0,011694
171	17,29514	0,011575
172	17,40582	0,011068
173	17,51756	0,011174
174	17,63332	0,011576
175	17,74955	0,011622
176	17,86612	0,011657
177	17,98244	0,011633
178	18,09879	0,011635
179	18,21491	0,011612
180	18,33072	0,011581
181	18,44643	0,011571
182	18,56184	0,011541

183	18,67695	0,01151
184	18,79177	0,011482
185	18,90621	0,011444
186	19,02039	0,011418
187	19,13428	0,01139
188	19,24784	0,011356
189	19,36107	0,011323
190	19,47386	0,011278
191	19,5863	0,011245
192	19,69835	0,011205
193	19,81	0,011164
194	19,9212	0,01112
195	20,03189	0,011069
196	20,14238	0,011049
197	20,25255	0,011017
198	20,36227	0,010973
199	20,47143	0,010916
200	20,58009	0,010867
201	20,68826	0,010816
202	20,7959	0,010764
203	20,90301	0,01071
204	21,00946	0,010646
205	21,11549	0,010603
206	21,22097	0,010548
207	21,32586	0,010489
208	21,43012	0,010425
209	21,53379	0,010367
210	21,63689	0,01031
211	21,73945	0,010256
212	21,84133	0,010188
213	21,94257	0,010124
214	22,04318	0,010061
215	22,14315	0,009998
216	22,24246	0,009931
217	22,34104	0,009858
218	22,43901	0,009796
219	22,53626	0,009725
220	22,63287	0,009661
221	22,72872	0,009586
222	22,82387	0,009515
223	22,9183	0,009443
224	23,01196	0,009366

225	23,10486	0,009289
226	23,19701	0,009216
227	23,28839	0,009138
228	23,37898	0,009059
229	23,46872	0,008974
230	23,55763	0,008891
231	23,64577	0,008814
232	23,73306	0,008729
233	23,81948	0,008641
234	23,90501	0,008553
235	23,98969	0,008468
236	24,07346	0,008378
237	24,1563	0,008283
238	24,23819	0,008189
239	24,31915	0,008096
240	24,39912	0,007998
241	24,47808	0,007895
242	24,55602	0,007794
243	24,63294	0,007692
244	24,70879	0,007585
245	24,78353	0,007475
246	24,85716	0,007363
247	24,92965	0,007249
248	25,00096	0,007131
249	25,07107	0,007011
250	25,13996	0,006889
251	25,20763	0,006767
252	25,27402	0,006639
253	25,33906	0,006505
254	25,40279	0,006372
255	25,46517	0,006238
256	25,52612	0,006096
257	25,58558	0,005946
258	25,64346	0,005788
259	25,6998	0,005633
260	25,75447	0,005468
261	25,80743	0,005296
262	25,85865	0,005122
263	25,90809	0,004943
264	25,9556	0,004752
265	26,0011	0,00455

Таблиця Б.14. Градувальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,004	0,0004
1	0,018	0,0014
2	0,04	0,0022
3	0,067	0,0027
4	0,097	0,003
5	0,13	0,0033
6	0,166	0,0036
7	0,204	0,0038
8	0,244	0,004
9	0,287	0,0043
10	0,332	0,0045
11	0,379	0,0047
12	0,428	0,0049
13	0,479	0,0051
14	0,531	0,0052
15	0,585	0,0054
16	0,641	0,0056
17	0,698	0,0057
18	0,757	0,0059
19	0,817	0,006
20	0,878	0,0061
21	0,941	0,0063
22	1,006	0,0065
23	1,072	0,0066
24	1,139	0,0067
25	1,207	0,0068
26	1,277	0,007
27	1,348	0,0071
28	1,42	0,0072
29	1,493	0,0073
30	1,567	0,0074
31	1,643	0,0076
32	1,719	0,0076
33	1,796	0,0077
34	1,874	0,0078
35	1,954	0,008
36	2,034	0,008
37	2,116	0,0082
38	2,199	0,0083
39	2,282	0,0083
40	2,366	0,0084
41	2,452	0,0086
42	2,538	0,0086
43	2,625	0,0087
44	2,713	0,0088
45	2,802	0,0089

46	2,89	0,0088
47	2,981	0,0091
48	3,072	0,0091
49	3,164	0,0092
50	3,257	0,0093
51	3,35	0,0093
52	3,445	0,0095
53	3,54	0,0095
54	3,635	0,0095
55	3,732	0,0097
56	3,829	0,0097
57	3,927	0,0098
58	4,025	0,0098
59	4,123	0,0098
60	4,223	0,01
61	4,324	0,0101
62	4,425	0,0101
63	4,527	0,0102
64	4,629	0,0102
65	4,732	0,0103
66	4,835	0,0103
67	4,939	0,0104
68	5,044	0,0105
69	5,149	0,0105
70	5,255	0,0106
71	5,361	0,0106
72	5,467	0,0106
73	5,574	0,0107
74	5,682	0,0108
75	5,79	0,0108
76	5,899	0,0109
77	6,008	0,0109
78	6,118	0,011
79	6,228	0,011
80	6,339	0,0111
81	6,45	0,0111
82	6,561	0,0111
83	6,673	0,0112
84	6,786	0,0113
85	6,898	0,0112
86	7,011	0,0113
87	7,125	0,0114
88	7,239	0,0114
89	7,354	0,0115
90	7,469	0,0115
91	7,584	0,0115
92	7,7	0,0116
93	7,816	0,0116

94	7,932	0,0116
95	8,049	0,0117
96	8,166	0,0117
97	8,284	0,0118
98	8,4	0,0116
99	8,518	0,0118
100	8,637	0,0119
101	8,755	0,0118
102	8,874	0,0119
103	8,994	0,012
104	9,113	0,0119
105	9,233	0,012
106	9,353	0,012
107	9,473	0,012
108	9,594	0,0121
109	9,714	0,012
110	9,835	0,0121
111	9,956	0,0121
112	10,077	0,0121
113	10,199	0,0122
114	10,32	0,0121
115	10,443	0,0123
116	10,565	0,0122
117	10,687	0,0122
118	10,81	0,0123
119	10,933	0,0123
120	11,056	0,0123
121	11,179	0,0123
122	11,302	0,0123
123	11,425	0,0123
124	11,548	0,0123
125	11,671	0,0123
126	11,795	0,0124
127	11,919	0,0124
128	12,043	0,0124
129	12,167	0,0124
130	12,291	0,0124
131	12,415	0,0124
132	12,54	0,0125
133	12,664	0,0124
134	12,789	0,0125
135	12,913	0,0124
136	13,038	0,0125
137	13,161	0,0123
138	13,286	0,0125
139	13,41	0,0124
140	13,534	0,0124
141	13,659	0,0125

142	13,783	0,0124
143	13,907	0,0124
144	14,031	0,0124
145	14,155	0,0124
146	14,279	0,0124
147	14,403	0,0124
148	14,527	0,0124
149	14,65	0,0123
150	14,773	0,0123
151	14,896	0,0123
152	15,019	0,0123
153	15,143	0,0124
154	15,265	0,0122
155	15,388	0,0123
156	15,511	0,0123
157	15,633	0,0122
158	15,756	0,0123
159	15,878	0,0122
160	15,999	0,0121
161	16,121	0,0122
162	16,243	0,0122
163	16,363	0,012
164	16,484	0,0121
165	16,605	0,0121
166	16,725	0,012
167	16,846	0,0121
168	16,966	0,012
169	17,085	0,0119
170	17,205	0,012
171	17,324	0,0119
172	17,443	0,0119
173	17,562	0,0119
174	17,681	0,0119
175	17,799	0,0118
176	17,916	0,0117
177	18,033	0,0117
178	18,15	0,0117
179	18,267	0,0117
180	18,384	0,0117
181	18,5	0,0116
182	18,616	0,0116
183	18,732	0,0116
184	18,847	0,0115
185	18,962	0,0115
186	19,076	0,0114
187	19,19	0,0114
188	19,304	0,0114
189	19,417	0,0113

190	19,53	0,0113
191	19,642	0,0112
192	19,754	0,0112
193	19,866	0,0112
194	19,977	0,0111
195	20,088	0,0111
196	20,199	0,0111
197	20,309	0,011
198	20,418	0,0109
199	20,527	0,0109
200	20,636	0,0109
201	20,744	0,0108
202	20,851	0,0107
203	20,958	0,0107
204	21,064	0,0106
205	21,17	0,0106
206	21,275	0,0105
207	21,38	0,0105
208	21,484	0,0104
209	21,588	0,0104
210	21,69	0,0102
211	21,793	0,0103
212	21,894	0,0101
213	21,995	0,0101
214	22,096	0,0101
215	22,194	0,0098
216	22,293	0,0099
217	22,391	0,0098
218	22,489	0,0098
219	22,586	0,0097
220	22,682	0,0096
221	22,777	0,0095
222	22,872	0,0095
223	22,966	0,0094
224	23,059	0,0093
225	23,152	0,0093

226	23,243	0,0091
227	23,334	0,0091
228	23,423	0,0089
229	23,513	0,009
230	23,601	0,0088
231	23,689	0,0088
232	23,775	0,0086
233	23,861	0,0086
234	23,946	0,0085
235	24,03	0,0084
236	24,113	0,0083
237	24,196	0,0083
238	24,277	0,0081
239	24,357	0,008
240	24,436	0,0079
241	24,514	0,0078
242	24,591	0,0077
243	24,667	0,0076
244	24,742	0,0075
245	24,816	0,0074
246	24,889	0,0073
247	24,961	0,0072
248	25,031	0,007
249	25,1	0,0069
250	25,168	0,0068
251	25,235	0,0067
252	25,301	0,0066
253	25,365	0,0064
254	25,426	0,0061
255	25,488	0,0062
256	25,548	0,006
257	25,606	0,0058
258	25,663	0,0057
259	25,718	0,0055
260	25,771	0,0053

Таблиця Б.15. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м ³	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,002164	0,000216
1	0,009335	0,000717
2	0,02342	0,001408
3	0,043425	0,002

4	0,070214	0,002679
5	0,1011	0,003089
6	0,135119	0,003402
7	0,171779	0,003666
8	0,210723	0,003894
9	0,251785	0,004106
10	0,294883	0,00431

11	0,339941	0,004506
12	0,386894	0,004695
13	0,435671	0,004878
14	0,486263	0,005059
15	0,538551	0,005229
16	0,592506	0,005395
17	0,648075	0,005557
18	0,705211	0,005714
19	0,763877	0,005867
20	0,824027	0,006015
21	0,885626	0,00616
22	0,948649	0,006302
23	1,013066	0,006442
24	1,078845	0,006578
25	1,145933	0,006709
26	1,214311	0,006838
27	1,283946	0,006963
28	1,354799	0,007085
29	1,426836	0,007204
30	1,50002	0,007318
31	1,574329	0,007431
32	1,64974	0,007541
33	1,72624	0,00765
34	1,80381	0,007757
35	1,882439	0,007863
36	1,962102	0,007966
37	2,042769	0,008067
38	2,124429	0,008166
39	2,207054	0,008263
40	2,290641	0,008359
41	2,375161	0,008452
42	2,460606	0,008544
43	2,546959	0,008635
44	2,634192	0,008723
45	2,722309	0,008812
46	2,811278	0,008897
47	2,90108	0,00898
48	2,99172	0,009064
49	3,08317	0,009145
50	3,175419	0,009225
51	3,268438	0,009302
52	3,362214	0,009378
53	3,456744	0,009453
54	3,551992	0,009525
55	3,647971	0,009598
56	3,744663	0,009669
57	3,842058	0,00974
58	3,940129	0,009807

59	4,038885	0,009876
60	4,138316	0,009943
61	4,238431	0,010011
62	4,339226	0,01008
63	4,44067	0,010144
64	4,542732	0,010206
65	4,645383	0,010265
66	4,74862	0,010324
67	4,852442	0,010382
68	4,956838	0,01044
69	5,061814	0,010498
70	5,167362	0,010555
71	5,27347	0,010611
72	5,380118	0,010665
73	5,487302	0,010718
74	5,595028	0,010773
75	5,703264	0,010824
76	5,812026	0,010876
77	5,921299	0,010927
78	6,031069	0,010977
79	6,141312	0,011024
80	6,252054	0,011074
81	6,363272	0,011122
82	6,474958	0,011169
83	6,587114	0,011216
84	6,699723	0,011261
85	6,812792	0,011307
86	6,92631	0,011352
87	7,040267	0,011396
88	7,15466	0,011439
89	7,269472	0,011481
90	7,384719	0,011525
91	7,50038	0,011566
92	7,616426	0,011605
93	7,732844	0,011642
94	7,849628	0,011678
95	7,966746	0,011712
96	8,084177	0,011743
97	8,201941	0,011776
98	8,320026	0,011809
99	8,438416	0,011839
100	8,557087	0,011867
101	8,676086	0,0119
102	8,795379	0,011929
103	8,914991	0,011961
104	9,034872	0,011988
105	9,155051	0,012018
106	9,275479	0,012043

107	9,396187	0,012071
108	9,517148	0,012096
109	9,638383	0,012123
110	9,75987	0,012149
111	9,881574	0,01217
112	10,00352	0,012195
113	10,12566	0,012213
114	10,24802	0,012236
115	10,37061	0,012259
116	10,49341	0,01228
117	10,6164	0,012299
118	10,7396	0,012319
119	10,86294	0,012335
120	10,98648	0,012354
121	11,1102	0,012372
122	11,23411	0,012391
123	11,35817	0,012406
124	11,48235	0,012418
125	11,6067	0,012435
126	11,73116	0,012446
127	11,8558	0,012464
128	11,98058	0,012477
129	12,10546	0,012488
130	12,23048	0,012503
131	12,3556	0,012512
132	12,4808	0,01252
133	12,60609	0,01253
134	12,73148	0,012539
135	12,85695	0,012547
136	12,9825	0,012555
137	13,10805	0,012555
138	13,23364	0,012559
139	13,35914	0,01255
140	13,48463	0,012549
141	13,61012	0,012549
142	13,73555	0,012543
143	13,86093	0,012538
144	13,98615	0,012522
145	14,11129	0,012515
146	14,23629	0,0125
147	14,36112	0,012483
148	14,48588	0,012476
149	14,61051	0,012462
150	14,73497	0,012447
151	14,85931	0,012434
152	14,98353	0,012422
153	15,10755	0,012402
154	15,23142	0,012387

155	15,35513	0,012371
156	15,4787	0,012357
157	15,60208	0,012338
158	15,72529	0,012321
159	15,84828	0,012299
160	15,97108	0,01228
161	16,09363	0,012255
162	16,21599	0,012236
163	16,33798	0,012199
164	16,4598	0,012182
165	16,58125	0,012145
166	16,70231	0,012105
167	16,82299	0,012068
168	16,94327	0,012027
169	17,0627	0,011943
170	17,18084	0,011814
171	17,29579	0,011495
172	17,41267	0,011688
173	17,53075	0,011809
174	17,64949	0,011874
175	17,76813	0,011864
176	17,88638	0,011825
177	18,00441	0,011803
178	18,12231	0,01179
179	18,23995	0,011764
180	18,35728	0,011733
181	18,47447	0,011719
182	18,59123	0,011676
183	18,70762	0,011639
184	18,82368	0,011606
185	18,9395	0,011581
186	19,055	0,01155
187	19,17002	0,011502
188	19,2846	0,011458
189	19,3989	0,01143
190	19,51288	0,011398
191	19,62648	0,01136
192	19,73973	0,011325
193	19,85242	0,011269
194	19,96479	0,011238
195	20,07674	0,011195
196	20,18829	0,011154
197	20,29934	0,011105
198	20,41007	0,011073
199	20,52041	0,011033
200	20,63032	0,010991
201	20,73976	0,010944
202	20,8487	0,010894

203	20,9572	0,01085
204	21,06515	0,010795
205	21,17249	0,010735
206	21,27922	0,010672
207	21,38536	0,010614
208	21,4909	0,010554
209	21,59587	0,010498
210	21,70017	0,01043
211	21,80389	0,010372
212	21,90695	0,010305
213	22,00935	0,010241
214	22,11105	0,010169
215	22,21213	0,010108
216	22,31249	0,010036
217	22,41217	0,009969
218	22,51112	0,009895
219	22,6094	0,009828
220	22,70693	0,009753
221	22,80373	0,00968
222	22,89972	0,009599
223	22,99501	0,00953
224	23,08953	0,009452
225	23,18326	0,009373
226	23,27605	0,009279
227	23,36819	0,009213
228	23,45943	0,009124
229	23,54992	0,009049
230	23,63941	0,00895
231	23,72825	0,008884
232	23,8163	0,008804
233	23,90338	0,008708
234	23,98952	0,008614

235	24,07489	0,008537
236	24,15941	0,008452
237	24,24281	0,00834
238	24,32534	0,008253
239	24,40707	0,008173
240	24,48778	0,008071
241	24,56743	0,007965
242	24,64611	0,007868
243	24,72392	0,00778
244	24,80056	0,007664
245	24,87609	0,007553
246	24,95065	0,007457
247	25,0241	0,007345
248	25,09639	0,007229
249	25,16751	0,007112
250	25,23748	0,006997
251	25,30623	0,006876
252	25,37369	0,006746
253	25,43992	0,006623
254	25,50482	0,006491
255	25,56842	0,006359
256	25,63061	0,006219
257	25,69147	0,006086
258	25,75084	0,005937
259	25,80876	0,005792
260	25,86517	0,005641
261	25,91989	0,005473
262	25,97288	0,005299
263	26,02399	0,005111
264	26,07323	0,004924
265	26,12046	0,004723
265	26,12965	0,000919

Таблиця Б.16. Градувальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м ³	Коефіцієнт місткості, м ³ /мм
0	0,005	0,0005
1	0,015	0,001
2	0,032	0,0017
3	0,056	0,0024
4	0,086	0,003
5	0,119	0,0033
6	0,155	0,0036

7	0,192	0,0037
8	0,233	0,0041
9	0,275	0,0042
10	0,32	0,0045
11	0,367	0,0047
12	0,415	0,0048
13	0,466	0,0051
14	0,518	0,0052
15	0,571	0,0053
16	0,627	0,0056

17	0,684	0,0057
18	0,742	0,0058
19	0,802	0,006
20	0,862	0,006
21	0,925	0,0063
22	0,99	0,0065
23	1,055	0,0065
24	1,122	0,0067
25	1,19	0,0068
26	1,26	0,007
27	1,33	0,007
28	1,402	0,0072
29	1,475	0,0073
30	1,55	0,0075
31	1,625	0,0075
32	1,701	0,0076
33	1,778	0,0077
34	1,856	0,0078
35	1,936	0,008
36	2,016	0,008
37	2,098	0,0082
38	2,18	0,0082
39	2,264	0,0084
40	2,348	0,0084
41	2,433	0,0085
42	2,52	0,0087
43	2,607	0,0087
44	2,695	0,0088
45	2,783	0,0088
46	2,872	0,0089
47	2,963	0,0091
48	3,054	0,0091
49	3,146	0,0092
50	3,239	0,0093
51	3,332	0,0093
52	3,427	0,0095
53	3,522	0,0095
54	3,618	0,0096
55	3,714	0,0096
56	3,812	0,0098
57	3,91	0,0098
58	4,008	0,0098
59	4,107	0,0099
60	4,207	0,01
61	4,307	0,01
62	4,409	0,0102
63	4,511	0,0102
64	4,613	0,0102

65	4,716	0,0103
66	4,82	0,0104
67	4,924	0,0104
68	5,029	0,0105
69	5,135	0,0106
70	5,241	0,0106
71	5,347	0,0106
72	5,453	0,0106
73	5,561	0,0108
74	5,669	0,0108
75	5,778	0,0109
76	5,887	0,0109
77	5,997	0,011
78	6,107	0,011
79	6,217	0,011
80	6,329	0,0112
81	6,44	0,0111
82	6,552	0,0112
83	6,665	0,0113
84	6,778	0,0113
85	6,89	0,0112
86	7,004	0,0114
87	7,119	0,0115
88	7,233	0,0114
89	7,349	0,0116
90	7,464	0,0115
91	7,58	0,0116
92	7,696	0,0116
93	7,813	0,0117
94	7,93	0,0117
95	8,048	0,0118
96	8,165	0,0117
97	8,284	0,0119
98	8,401	0,0117
99	8,52	0,0119
100	8,639	0,0119
101	8,758	0,0119
102	8,877	0,0119
103	8,997	0,012
104	9,117	0,012
105	9,238	0,0121
106	9,359	0,0121
107	9,48	0,0121
108	9,601	0,0121
109	9,722	0,0121
110	9,844	0,0122
111	9,965	0,0121
112	10,087	0,0122

113	10,209	0,0122
114	10,332	0,0123
115	10,454	0,0122
116	10,577	0,0123
117	10,701	0,0124
118	10,824	0,0123
119	10,947	0,0123
120	11,071	0,0124
121	11,195	0,0124
122	11,319	0,0124
123	11,443	0,0124
124	11,566	0,0123
125	11,69	0,0124
126	11,815	0,0125
127	11,94	0,0125
128	12,064	0,0124
129	12,189	0,0125
130	12,314	0,0125
131	12,439	0,0125
132	12,564	0,0125
133	12,689	0,0125
134	12,814	0,0125
135	12,939	0,0125
136	13,065	0,0126
137	13,189	0,0124
138	13,314	0,0125
139	13,439	0,0125
140	13,565	0,0126
141	13,69	0,0125
142	13,815	0,0125
143	13,94	0,0125
144	14,065	0,0125
145	14,19	0,0125
146	14,315	0,0125
147	14,44	0,0125
148	14,564	0,0124
149	14,689	0,0125
150	14,812	0,0123
151	14,937	0,0125
152	15,061	0,0124
153	15,185	0,0124
154	15,309	0,0124
155	15,432	0,0123
156	15,556	0,0124
157	15,679	0,0123
158	15,802	0,0123
159	15,925	0,0123
160	16,048	0,0123

161	16,171	0,0123
162	16,293	0,0122
163	16,414	0,0121
164	16,536	0,0122
165	16,658	0,0122
166	16,779	0,0121
167	16,9	0,0121
168	17,021	0,0121
169	17,142	0,0121
170	17,262	0,012
171	17,382	0,012
172	17,502	0,012
173	17,622	0,012
174	17,741	0,0119
175	17,86	0,0119
176	17,978	0,0118
177	18,096	0,0118
178	18,214	0,0118
179	18,332	0,0118
180	18,449	0,0117
181	18,566	0,0117
182	18,683	0,0117
183	18,799	0,0116
184	18,915	0,0116
185	19,031	0,0116
186	19,146	0,0115
187	19,261	0,0115
188	19,375	0,0114
189	19,488	0,0113
190	19,602	0,0114
191	19,715	0,0113
192	19,828	0,0113
193	19,941	0,0113
194	20,053	0,0112
195	20,164	0,0111
196	20,275	0,0111
197	20,386	0,0111
198	20,496	0,011
199	20,606	0,011
200	20,715	0,0109
201	20,824	0,0109
202	20,932	0,0108
203	21,039	0,0107
204	21,147	0,0108
205	21,253	0,0106
206	21,359	0,0106
207	21,465	0,0106
208	21,57	0,0105

209	21,674	0,0104
210	21,778	0,0104
211	21,881	0,0103
212	21,983	0,0102
213	22,085	0,0102
214	22,186	0,0101
215	22,285	0,0099
216	22,385	0,01
217	22,484	0,0099
218	22,582	0,0098
219	22,679	0,0097
220	22,776	0,0097
221	22,872	0,0096
222	22,968	0,0096
223	23,062	0,0094
224	23,156	0,0094
225	23,249	0,0093
226	23,341	0,0092
227	23,433	0,0092
228	23,522	0,0089
229	23,612	0,009
230	23,701	0,0089
231	23,789	0,0088
232	23,877	0,0088
233	23,963	0,0086
234	24,048	0,0085

235	24,133	0,0085
236	24,217	0,0084
237	24,299	0,0082
238	24,381	0,0082
239	24,462	0,0081
240	24,541	0,0079
241	24,619	0,0078
242	24,697	0,0078
243	24,773	0,0076
244	24,849	0,0076
245	24,923	0,0074
246	24,997	0,0074
247	25,069	0,0072
248	25,14	0,0071
249	25,21	0,007
250	25,278	0,0068
251	25,346	0,0068
252	25,412	0,0066
253	25,476	0,0064
254	25,538	0,0062
255	25,6	0,0062
256	25,661	0,0061
257	25,72	0,0059
258	25,777	0,0057
259	25,833	0,0056
260	25,887	0,0054

Таблиця Б.17. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,005229	0,000523
1	0,013242	0,000801
2	0,027687	0,001444
3	0,050658	0,002297
4	0,078612	0,002795
5	0,110564	0,003195
6	0,145538	0,003497
7	0,183062	0,003752
8	0,222897	0,003984
9	0,264895	0,0042
10	0,308974	0,004408
11	0,355037	0,004606
12	0,40302	0,004798

13	0,452856	0,004984
14	0,504479	0,005162
15	0,557817	0,005334
16	0,612808	0,005499
17	0,669405	0,00566
18	0,72756	0,005815
19	0,787236	0,005968
20	0,848395	0,006116
21	0,910975	0,006258
22	0,974924	0,006395
23	1,04022	0,00653
24	1,106839	0,006662
25	1,17473	0,006789
26	1,243854	0,006912
27	1,314206	0,007035
28	1,385759	0,007155

29	1,458497	0,007274
30	1,532372	0,007387
31	1,607376	0,0075
32	1,683469	0,007609
33	1,760635	0,007717
34	1,838868	0,007823
35	1,918147	0,007928
36	1,998448	0,00803
37	2,079742	0,008129
38	2,162034	0,008229
39	2,245275	0,008324
40	2,329476	0,00842
41	2,414554	0,008508
42	2,500496	0,008594
43	2,587384	0,008689
44	2,675172	0,008779
45	2,763788	0,008862
46	2,85328	0,008949
47	2,943558	0,009028
48	3,034691	0,009113
49	3,126627	0,009194
50	3,219375	0,009275
51	3,312896	0,009352
52	3,407176	0,009428
53	3,502216	0,009504
54	3,597993	0,009578
55	3,694494	0,00965
56	3,791697	0,00972
57	3,88958	0,009788
58	3,98818	0,00986
59	4,087467	0,009929
60	4,187417	0,009995
61	4,288039	0,010062
62	4,38933	0,010129
63	4,491291	0,010196
64	4,593877	0,010259
65	4,697109	0,010323
66	4,800966	0,010386
67	4,90538	0,010441
68	5,010378	0,0105
69	5,115911	0,010553
70	5,222006	0,010609
71	5,328642	0,010664
72	5,435821	0,010718
73	5,543525	0,01077
74	5,651739	0,010821
75	5,760472	0,010873
76	5,869709	0,010924

77	5,979458	0,010975
78	6,089702	0,011024
79	6,200411	0,011071
80	6,311601	0,011119
81	6,423288	0,011169
82	6,535435	0,011215
83	6,648028	0,011259
84	6,761067	0,011304
85	6,87453	0,011346
86	6,988413	0,011388
87	7,102732	0,011432
88	7,217473	0,011474
89	7,332626	0,011515
90	7,448215	0,011559
91	7,564204	0,011599
92	7,680619	0,011641
93	7,797397	0,011678
94	7,914551	0,011715
95	8,031965	0,011741
96	8,149761	0,01178
97	8,267889	0,011813
98	8,386312	0,011842
99	8,50502	0,011871
100	8,623999	0,011898
101	8,743292	0,011929
102	8,862865	0,011957
103	8,982714	0,011985
104	9,102859	0,012015
105	9,223278	0,012042
106	9,343957	0,012068
107	9,464901	0,012094
108	9,586087	0,012119
109	9,707522	0,012143
110	9,829194	0,012167
111	9,951109	0,012192
112	10,07324	0,012213
113	10,19559	0,012235
114	10,31816	0,012257
115	10,44093	0,012277
116	10,5639	0,012297
117	10,68707	0,012317
118	10,81045	0,012337
119	10,934	0,012356
120	11,05773	0,012373
121	11,18162	0,012389
122	11,30564	0,012402
123	11,42986	0,012422
124	11,55424	0,012438

125	11,67876	0,012452
126	11,80342	0,012466
127	11,92822	0,01248
128	12,05313	0,012491
129	12,17816	0,012504
130	12,3033	0,012514
131	12,42855	0,012525
132	12,55393	0,012537
133	12,6794	0,012547
134	12,80497	0,012557
135	12,93062	0,012565
136	13,05631	0,012569
137	13,18202	0,012571
138	13,30773	0,012571
139	13,43342	0,012569
140	13,55908	0,012566
141	13,68469	0,012561
142	13,81023	0,012554
143	13,93568	0,012545
144	14,06103	0,012535
145	14,18628	0,012525
146	14,31141	0,012513
147	14,43643	0,012502
148	14,56133	0,01249
149	14,68609	0,012476
150	14,81072	0,012463
151	14,9352	0,012448
152	15,05954	0,012434
153	15,18371	0,012418
154	15,30774	0,012403
155	15,43161	0,012387
156	15,5553	0,012369
157	15,67882	0,012352
158	15,80214	0,012332
159	15,92528	0,012314
160	16,04823	0,012294
161	16,17096	0,012273
162	16,29347	0,012252
163	16,41574	0,012227
164	16,53778	0,012204
165	16,65954	0,012176
166	16,781	0,012146
167	16,90218	0,012118
168	17,02272	0,012054
169	17,14322	0,01205
170	17,26365	0,012043
171	17,38389	0,012023
172	17,50381	0,011993

173	17,62311	0,01193
174	17,74219	0,011907
175	17,86119	0,0119
176	17,98004	0,011885
177	18,09865	0,011861
178	18,21695	0,01183
179	18,33493	0,011798
180	18,45259	0,011765
181	18,56991	0,011733
182	18,6869	0,011699
183	18,80352	0,011662
184	18,91977	0,011626
185	19,03563	0,011586
186	19,15113	0,011549
187	19,26624	0,011511
188	19,38095	0,011471
189	19,49526	0,011431
190	19,60916	0,01139
191	19,72262	0,011346
192	19,83567	0,011305
193	19,9483	0,011263
194	20,0605	0,01122
195	20,17226	0,011176
196	20,28362	0,011136
197	20,39452	0,01109
198	20,50495	0,011042
199	20,61492	0,010997
200	20,7244	0,010948
201	20,83335	0,010895
202	20,94176	0,010841
203	21,04961	0,010785
204	21,15693	0,010732
205	21,2637	0,010677
206	21,36991	0,010621
207	21,47554	0,010562
208	21,58057	0,010504
209	21,68499	0,010442
210	21,78879	0,01038
211	21,89196	0,010317
212	21,99451	0,010254
213	22,0964	0,01019
214	22,19764	0,010124
215	22,29822	0,010057
216	22,39811	0,009989
217	22,49732	0,009921
218	22,59583	0,009851
219	22,69364	0,009781
220	22,79075	0,00971

221	22,8871	0,009635
222	22,98271	0,009562
223	23,07759	0,009487
224	23,1717	0,009412
225	23,26505	0,009334
226	23,35762	0,009258
227	23,4494	0,009178
228	23,5404	0,009099
229	23,63056	0,009016
230	23,71991	0,008935
231	23,80843	0,008852
232	23,8961	0,008767
233	23,9829	0,00868
234	24,06885	0,008594
235	24,15391	0,008506
236	24,23807	0,008416
237	24,32133	0,008326
238	24,40365	0,008232
239	24,48503	0,008138
240	24,56545	0,008042
241	24,6449	0,007944
242	24,72335	0,007845

243	24,80079	0,007744
244	24,87719	0,00764
245	24,95252	0,007533
246	25,02674	0,007422
247	25,09985	0,007311
248	25,1718	0,007195
249	25,24258	0,007078
250	25,31213	0,006955
251	25,38042	0,006829
252	25,44741	0,006699
253	25,51306	0,006565
254	25,57735	0,006429
255	25,64025	0,006291
256	25,70175	0,00615
257	25,76175	0,006001
258	25,82021	0,005846
259	25,87709	0,005688
260	25,93231	0,005522
261	25,98585	0,005353
262	26,03763	0,005178
263	26,08755	0,004992
264	26,13551	0,004797

Таблиця Б.18. Градуювальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,005	0,0005
1	0,015	0,001
2	0,031	0,0016
3	0,054	0,0023
4	0,083	0,0029
5	0,116	0,0033
6	0,152	0,0036
7	0,189	0,0037
8	0,23	0,0041
9	0,272	0,0042
10	0,317	0,0045
11	0,364	0,0047
12	0,413	0,0049
13	0,464	0,0051
14	0,516	0,0052
15	0,57	0,0054
16	0,626	0,0056

17	0,683	0,0057
18	0,742	0,0059
19	0,803	0,0061
20	0,863	0,006
21	0,927	0,0064
22	0,991	0,0064
23	1,057	0,0066
24	1,124	0,0067
25	1,193	0,0069
26	1,263	0,007
27	1,334	0,0071
28	1,406	0,0072
29	1,479	0,0073
30	1,553	0,0074
31	1,629	0,0076
32	1,706	0,0077
33	1,782	0,0076
34	1,861	0,0079
35	1,941	0,008
36	2,022	0,0081

37	2,103	0,0081
38	2,186	0,0083
39	2,27	0,0084
40	2,354	0,0084
41	2,44	0,0086
42	2,526	0,0086
43	2,614	0,0088
44	2,702	0,0088
45	2,791	0,0089
46	2,88	0,0089
47	2,97	0,009
48	3,062	0,0092
49	3,154	0,0092
50	3,247	0,0093
51	3,341	0,0094
52	3,436	0,0095
53	3,531	0,0095
54	3,627	0,0096
55	3,724	0,0097
56	3,821	0,0097
57	3,92	0,0099
58	4,019	0,0099
59	4,117	0,0098
60	4,218	0,0101
61	4,318	0,01
62	4,42	0,0102
63	4,522	0,0102
64	4,625	0,0103
65	4,729	0,0104
66	4,833	0,0104
67	4,937	0,0104
68	5,042	0,0105
69	5,148	0,0106
70	5,254	0,0106
71	5,361	0,0107
72	5,468	0,0107
73	5,576	0,0108
74	5,684	0,0108
75	5,793	0,0109
76	5,902	0,0109
77	6,012	0,011
78	6,123	0,0111
79	6,234	0,0111
80	6,345	0,0111
81	6,457	0,0112
82	6,569	0,0112
83	6,682	0,0113
84	6,795	0,0113

85	6,908	0,0113
86	7,022	0,0114
87	7,136	0,0114
88	7,251	0,0115
89	7,366	0,0115
90	7,482	0,0116
91	7,598	0,0116
92	7,715	0,0117
93	7,832	0,0117
94	7,949	0,0117
95	8,066	0,0117
96	8,184	0,0118
97	8,302	0,0118
98	8,42	0,0118
99	8,539	0,0119
100	8,658	0,0119
101	8,777	0,0119
102	8,897	0,012
103	9,017	0,012
104	9,137	0,012
105	9,257	0,012
106	9,378	0,0121
107	9,499	0,0121
108	9,62	0,0121
109	9,742	0,0122
110	9,863	0,0121
111	9,984	0,0121
112	10,106	0,0122
113	10,229	0,0123
114	10,351	0,0122
115	10,474	0,0123
116	10,597	0,0123
117	10,72	0,0123
118	10,843	0,0123
119	10,967	0,0124
120	11,09	0,0123
121	11,214	0,0124
122	11,338	0,0124
123	11,462	0,0124
124	11,586	0,0124
125	11,71	0,0124
126	11,834	0,0124
127	11,959	0,0125
128	12,084	0,0125
129	12,209	0,0125
130	12,334	0,0125
131	12,458	0,0124
132	12,584	0,0126

133	12,709	0,0125
134	12,834	0,0125
135	12,959	0,0125
136	13,084	0,0125
137	13,209	0,0125
138	13,334	0,0125
139	13,459	0,0125
140	13,584	0,0125
141	13,71	0,0126
142	13,835	0,0125
143	13,96	0,0125
144	14,085	0,0125
145	14,209	0,0124
146	14,334	0,0125
147	14,459	0,0125
148	14,583	0,0124
149	14,708	0,0125
150	14,831	0,0123
151	14,955	0,0124
152	15,079	0,0124
153	15,203	0,0124
154	15,327	0,0124
155	15,45	0,0123
156	15,573	0,0123
157	15,696	0,0123
158	15,819	0,0123
159	15,942	0,0123
160	16,065	0,0123
161	16,187	0,0122
162	16,309	0,0122
163	16,43	0,0121
164	16,552	0,0122
165	16,673	0,0121
166	16,794	0,0121
167	16,915	0,0121
168	17,036	0,0121
169	17,156	0,012
170	17,276	0,012
171	17,396	0,012
172	17,516	0,012
173	17,635	0,0119
174	17,754	0,0119
175	17,873	0,0119
176	17,99	0,0117
177	18,108	0,0118
178	18,226	0,0118
179	18,343	0,0117
180	18,46	0,0117

181	18,577	0,0117
182	18,694	0,0117
183	18,81	0,0116
184	18,925	0,0115
185	19,041	0,0116
186	19,156	0,0115
187	19,27	0,0114
188	19,384	0,0114
189	19,497	0,0113
190	19,61	0,0113
191	19,723	0,0113
192	19,836	0,0113
193	19,948	0,0112
194	20,059	0,0111
195	20,171	0,0112
196	20,281	0,011
197	20,392	0,0111
198	20,501	0,0109
199	20,611	0,011
200	20,719	0,0108
201	20,828	0,0109
202	20,935	0,0107
203	21,042	0,0107
204	21,148	0,0106
205	21,255	0,0107
206	21,36	0,0105
207	21,465	0,0105
208	21,569	0,0104
209	21,673	0,0104
210	21,776	0,0103
211	21,878	0,0102
212	21,98	0,0102
213	22,081	0,0101
214	22,182	0,0101
215	22,28	0,0098
216	22,379	0,0099
217	22,478	0,0099
218	22,575	0,0097
219	22,672	0,0097
220	22,769	0,0097
221	22,864	0,0095
222	22,959	0,0095
223	23,053	0,0094
224	23,146	0,0093
225	23,239	0,0093
226	23,33	0,0091
227	23,421	0,0091
228	23,51	0,0089

229	23,6	0,009
230	23,688	0,0088
231	23,776	0,0088
232	23,863	0,0087
233	23,949	0,0086
234	24,034	0,0085
235	24,118	0,0084
236	24,201	0,0083
237	24,284	0,0083
238	24,365	0,0081
239	24,445	0,008
240	24,525	0,008
241	24,602	0,0077
242	24,68	0,0078
243	24,756	0,0076
244	24,832	0,0076

245	24,906	0,0074
246	24,979	0,0073
247	25,051	0,0072
248	25,122	0,0071
249	25,191	0,0069
250	25,26	0,0069
251	25,327	0,0067
252	25,392	0,0065
253	25,457	0,0065
254	25,519	0,0062
255	25,58	0,0061
256	25,64	0,006
257	25,699	0,0059
258	25,756	0,0057
259	25,811	0,0055
260	25,864	0,0053

Таблиця Б.19. Градувальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	7,97E-07	7,97E-08
1	6,89E-05	6,81E-06
2	0,00042	3,51E-05
3	0,002402	0,000198
4	0,013088	0,001069
5	0,028611	0,001552
6	0,050465	0,002185
7	0,077646	0,002718
8	0,108744	0,00311
9	0,143073	0,003433
10	0,180272	0,00372
11	0,219876	0,00396
12	0,261645	0,004177
13	0,305447	0,00438
14	0,351184	0,004574
15	0,398774	0,004759
16	0,448157	0,004938
17	0,499282	0,005112
18	0,552103	0,005282
19	0,606555	0,005445
20	0,66258	0,005603
21	0,720142	0,005756
22	0,779203	0,005906
23	0,839743	0,006054

24	0,901708	0,006197
25	0,965068	0,006336
26	1,029782	0,006471
27	1,095818	0,006604
28	1,163129	0,006731
29	1,231691	0,006856
30	1,301486	0,006979
31	1,372472	0,007099
32	1,444623	0,007215
33	1,51792	0,00733
34	1,592344	0,007442
35	1,667864	0,007552
36	1,744449	0,007658
37	1,822085	0,007764
38	1,900746	0,007866
39	1,980426	0,007968
40	2,061101	0,008067
41	2,142752	0,008165
42	2,225356	0,00826
43	2,30891	0,008355
44	2,393398	0,008449
45	2,478798	0,00854
46	2,5651	0,00863
47	2,652301	0,00872
48	2,740374	0,008807
49	2,829298	0,008892
50	2,919067	0,008977

51	3,009654	0,009059
52	3,10104	0,009139
53	3,193218	0,009218
54	3,28617	0,009295
55	3,379896	0,009373
56	3,474371	0,009447
57	3,569577	0,009521
58	3,665507	0,009593
59	3,762156	0,009665
60	3,859499	0,009734
61	3,95746	0,009796
62	4,056155	0,00987
63	4,155522	0,009937
64	4,255534	0,010001
65	4,356176	0,010064
66	4,457446	0,010127
67	4,559342	0,01019
68	4,661856	0,010251
69	4,76498	0,010312
70	4,868703	0,010372
71	4,972982	0,010428
72	5,077859	0,010488
73	5,18329	0,010543
74	5,289246	0,010596
75	5,395735	0,010649
76	5,502767	0,010703
77	5,610307	0,010754
78	5,71833	0,010802
79	5,826874	0,010854
80	5,935894	0,010902
81	6,045396	0,01095
82	6,155375	0,010998
83	6,265809	0,011043
84	6,376712	0,01109
85	6,488063	0,011135
86	6,599874	0,011181
87	6,712118	0,011224
88	6,824798	0,011268
89	6,937897	0,01131
90	7,051419	0,011352
91	7,165362	0,011394
92	7,279702	0,011434
93	7,39443	0,011473
94	7,509563	0,011513
95	7,625068	0,011551
96	7,740958	0,011589
97	7,857229	0,011627
98	7,973871	0,011664

99	8,090881	0,011701
100	8,208264	0,011738
101	8,325989	0,011772
102	8,444071	0,011808
103	8,562446	0,011838
104	8,681113	0,011867
105	8,800103	0,011899
106	8,919412	0,011931
107	9,038972	0,011956
108	9,158785	0,011981
109	9,278872	0,012009
110	9,399201	0,012033
111	9,519771	0,012057
112	9,640571	0,01208
113	9,761595	0,012102
114	9,882863	0,012127
115	10,00433	0,012147
116	10,12605	0,012171
117	10,24798	0,012193
118	10,37012	0,012215
119	10,49248	0,012236
120	10,61503	0,012255
121	10,7378	0,012276
122	10,86075	0,012296
123	10,9839	0,012314
124	11,10722	0,012332
125	11,23072	0,012349
126	11,35436	0,012364
127	11,47818	0,012382
128	11,60216	0,012398
129	11,72628	0,012412
130	11,85055	0,012427
131	11,97495	0,01244
132	12,09943	0,012449
133	12,22409	0,012466
134	12,34885	0,012475
135	12,47371	0,012487
136	12,59865	0,012494
137	12,72368	0,012502
138	12,84875	0,012507
139	12,97387	0,012512
140	13,09902	0,012515
141	13,22416	0,012514
142	13,3493	0,012514
143	13,47442	0,012512
144	13,59949	0,012507
145	13,72448	0,0125
146	13,84942	0,012493

147	13,97426	0,012484
148	14,09901	0,012474
149	14,22366	0,012465
150	14,34821	0,012455
151	14,47263	0,012443
152	14,59695	0,012432
153	14,72114	0,012419
154	14,84522	0,012407
155	14,96916	0,012394
156	15,09296	0,012379
157	15,21661	0,012366
158	15,34012	0,01235
159	15,46346	0,012335
160	15,58666	0,01232
161	15,70968	0,012302
162	15,83254	0,012285
163	15,95521	0,012267
164	16,07769	0,012249
165	16,2	0,01223
166	16,32209	0,012209
167	16,444	0,012191
168	16,56568	0,012168
169	16,68713	0,012145
170	16,80833	0,01212
171	16,92919	0,012087
172	17,04977	0,012057
173	17,16967	0,01199
174	17,28977	0,01201
175	17,40965	0,011989
176	17,52923	0,011958
177	17,64846	0,011923
178	17,76676	0,01183
179	17,88526	0,01185
180	18,00359	0,011833
181	18,12174	0,011815
182	18,2396	0,011786
183	18,35718	0,011758
184	18,47446	0,011728
185	18,59145	0,011699
186	18,7081	0,011665
187	18,82441	0,011631
188	18,94033	0,011592
189	19,05584	0,011551
190	19,17093	0,011509
191	19,28561	0,011468
192	19,39988	0,011427
193	19,51381	0,011393
194	19,62743	0,011363

195	19,74072	0,011328
196	19,85358	0,011287
197	19,96598	0,01124
198	20,07791	0,011192
199	20,18936	0,011145
200	20,30032	0,011096
201	20,41079	0,011047
202	20,52078	0,010999
203	20,63027	0,010949
204	20,73926	0,010899
205	20,84772	0,010847
206	20,95566	0,010794
207	21,06306	0,01074
208	21,16992	0,010686
209	21,27621	0,010629
210	21,38193	0,010572
211	21,48707	0,010514
212	21,5916	0,010453
213	21,69554	0,010394
214	21,79886	0,010333
215	21,90158	0,010271
216	22,00367	0,01021
217	22,10515	0,010147
218	22,20598	0,010084
219	22,30618	0,01002
220	22,40572	0,009954
221	22,50458	0,009886
222	22,60276	0,009818
223	22,70024	0,009748
224	22,79702	0,009677
225	22,89308	0,009606
226	22,98843	0,009536
227	23,08304	0,009461
228	23,1769	0,009386
229	23,27	0,00931
230	23,36234	0,009234
231	23,45389	0,009155
232	23,54465	0,009076
233	23,63458	0,008993
234	23,7237	0,008911
235	23,81198	0,008828
236	23,89941	0,008743
237	23,98599	0,008659
238	24,0717	0,008571
239	24,15651	0,00848
240	24,24039	0,008388
241	24,32334	0,008295
242	24,40532	0,008198

243	24,48632	0,0081
244	24,56631	0,007998
245	24,64523	0,007892
246	24,72308	0,007786
247	24,79987	0,007678
248	24,87556	0,007569
249	24,95016	0,00746
250	25,02363	0,007348
251	25,09595	0,007231
252	25,1671	0,007115
253	25,23705	0,006995
254	25,30578	0,006873
255	25,37326	0,006748

256	25,43946	0,00662
257	25,50436	0,00649
258	25,56792	0,006356
259	25,63012	0,00622
260	25,69092	0,00608
261	25,75026	0,005934
262	25,80807	0,005781
263	25,86429	0,005622
264	25,91881	0,005453
265	25,97165	0,005283
266	26,02275	0,00511
267	26,07205	0,00493
268	26,11951	0,004746

Таблиця Б.20. Градувальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,006	0,0006
1	0,016	0,001
2	0,033	0,0017
3	0,058	0,0025
4	0,09	0,0032
5	0,126	0,0036
6	0,164	0,0038
7	0,204	0,004
8	0,246	0,0042
9	0,291	0,0045
10	0,338	0,0047
11	0,386	0,0048
12	0,437	0,0051
13	0,489	0,0052
14	0,542	0,0053
15	0,598	0,0056
16	0,655	0,0057
17	0,713	0,0058
18	0,773	0,006
19	0,835	0,0062
20	0,897	0,0062
21	0,961	0,0064
22	1,027	0,0066
23	1,093	0,0066
24	1,162	0,0069
25	1,231	0,0069
26	1,301	0,007
27	1,373	0,0072

28	1,446	0,0073
29	1,52	0,0074
30	1,595	0,0075
31	1,672	0,0077
32	1,749	0,0077
33	1,826	0,0077
34	1,906	0,008
35	1,986	0,008
36	2,067	0,0081
37	2,15	0,0083
38	2,233	0,0083
39	2,317	0,0084
40	2,402	0,0085
41	2,488	0,0086
42	2,575	0,0087
43	2,663	0,0088
44	2,751	0,0088
45	2,841	0,009
46	2,93	0,0089
47	3,021	0,0091
48	3,113	0,0092
49	3,206	0,0093
50	3,299	0,0093
51	3,393	0,0094
52	3,488	0,0095
53	3,584	0,0096
54	3,68	0,0096
55	3,777	0,0097
56	3,875	0,0098
57	3,974	0,0099
58	4,073	0,0099

59	4,171	0,0098
60	4,272	0,0101
61	4,373	0,0101
62	4,475	0,0102
63	4,577	0,0102
64	4,68	0,0103
65	4,783	0,0103
66	4,887	0,0104
67	4,992	0,0105
68	5,097	0,0105
69	5,203	0,0106
70	5,309	0,0106
71	5,416	0,0107
72	5,522	0,0106
73	5,63	0,0108
74	5,738	0,0108
75	5,847	0,0109
76	5,956	0,0109
77	6,066	0,011
78	6,176	0,011
79	6,287	0,0111
80	6,398	0,0111
81	6,51	0,0112
82	6,622	0,0112
83	6,734	0,0112
84	6,847	0,0113
85	6,96	0,0113
86	7,074	0,0114
87	7,188	0,0114
88	7,302	0,0114
89	7,417	0,0115
90	7,533	0,0116
91	7,648	0,0115
92	7,764	0,0116
93	7,881	0,0117
94	7,998	0,0117
95	8,115	0,0117
96	8,232	0,0117
97	8,35	0,0118
98	8,468	0,0118
99	8,586	0,0118
100	8,705	0,0119
101	8,824	0,0119
102	8,943	0,0119
103	9,063	0,012
104	9,183	0,012
105	9,303	0,012
106	9,424	0,0121

107	9,544	0,012
108	9,665	0,0121
109	9,786	0,0121
110	9,908	0,0122
111	10,028	0,012
112	10,15	0,0122
113	10,272	0,0122
114	10,394	0,0122
115	10,517	0,0123
116	10,639	0,0122
117	10,762	0,0123
118	10,885	0,0123
119	11,008	0,0123
120	11,131	0,0123
121	11,255	0,0124
122	11,378	0,0123
123	11,502	0,0124
124	11,625	0,0123
125	11,748	0,0123
126	11,873	0,0125
127	11,997	0,0124
128	12,121	0,0124
129	12,245	0,0124
130	12,37	0,0125
131	12,494	0,0124
132	12,619	0,0125
133	12,744	0,0125
134	12,868	0,0124
135	12,993	0,0125
136	13,117	0,0124
137	13,241	0,0124
138	13,366	0,0125
139	13,491	0,0125
140	13,616	0,0125
141	13,74	0,0124
142	13,865	0,0125
143	13,989	0,0124
144	14,113	0,0124
145	14,238	0,0125
146	14,362	0,0124
147	14,486	0,0124
148	14,61	0,0124
149	14,733	0,0123
150	14,857	0,0124
151	14,98	0,0123
152	15,104	0,0124
153	15,227	0,0123
154	15,35	0,0123

155	15,473	0,0123
156	15,596	0,0123
157	15,718	0,0122
158	15,841	0,0123
159	15,963	0,0122
160	16,085	0,0122
161	16,207	0,0122
162	16,328	0,0121
163	16,45	0,0122
164	16,571	0,0121
165	16,692	0,0121
166	16,813	0,0121
167	16,933	0,012
168	17,054	0,0121
169	17,174	0,012
170	17,293	0,0119
171	17,413	0,012
172	17,532	0,0119
173	17,651	0,0119
174	17,77	0,0119
175	17,887	0,0117
176	18,005	0,0118
177	18,123	0,0118
178	18,241	0,0118
179	18,358	0,0117
180	18,475	0,0117
181	18,591	0,0116
182	18,707	0,0116
183	18,823	0,0116
184	18,938	0,0115
185	19,053	0,0115
186	19,168	0,0115
187	19,282	0,0114
188	19,395	0,0113
189	19,508	0,0113
190	19,621	0,0113
191	19,734	0,0113
192	19,846	0,0112
193	19,958	0,0112
194	20,069	0,0111
195	20,179	0,011
196	20,29	0,0111
197	20,399	0,0109
198	20,509	0,011
199	20,617	0,0108
200	20,726	0,0109
201	20,832	0,0106
202	20,939	0,0107

203	21,046	0,0107
204	21,152	0,0106
205	21,258	0,0106
206	21,362	0,0104
207	21,467	0,0105
208	21,57	0,0103
209	21,674	0,0104
210	21,776	0,0102
211	21,878	0,0102
212	21,979	0,0101
213	22,08	0,0101
214	22,179	0,0099
215	22,278	0,0099
216	22,377	0,0099
217	22,475	0,0098
218	22,572	0,0097
219	22,669	0,0097
220	22,765	0,0096
221	22,86	0,0095
222	22,954	0,0094
223	23,048	0,0094
224	23,141	0,0093
225	23,233	0,0092
226	23,324	0,0091
227	23,414	0,009
228	23,504	0,009
229	23,593	0,0089
230	23,681	0,0088
231	23,768	0,0087
232	23,855	0,0087
233	23,94	0,0085
234	24,025	0,0085
235	24,108	0,0083
236	24,191	0,0083
237	24,273	0,0082
238	24,354	0,0081
239	24,434	0,008
240	24,511	0,0077
241	24,589	0,0078
242	24,666	0,0077
243	24,741	0,0075
244	24,816	0,0075
245	24,889	0,0073
246	24,962	0,0073
247	25,033	0,0071
248	25,102	0,0069
249	25,171	0,0069
250	25,238	0,0067

251	25,304	0,0066
252	25,369	0,0065
253	25,431	0,0062
254	25,493	0,0062
255	25,554	0,0061

256	25,613	0,0059
257	25,671	0,0058
258	25,727	0,0056
259	25,781	0,0054

Таблиця Б.21. Градууювальна таблиця розрахована розробленим програмним забезпеченням

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	7,44E-05	7,44E-06
1	0,000654	5,79E-05
2	0,001587	9,34E-05
3	0,007038	0,000545
4	0,02053	0,001349
5	0,040946	0,002042
6	0,065208	0,002426
7	0,093641	0,002843
8	0,125651	0,003201
9	0,160784	0,003513
10	0,198493	0,003771
11	0,2385	0,004001
12	0,280664	0,004216
13	0,324876	0,004421
14	0,371031	0,004616
15	0,419044	0,004801
16	0,468844	0,00498
17	0,52034	0,00515
18	0,573479	0,005314
19	0,628209	0,005473
20	0,684493	0,005628
21	0,742306	0,005781
22	0,801638	0,005933
23	0,86244	0,00608
24	0,924662	0,006222
25	0,988286	0,006362
26	1,053254	0,006497
27	1,119545	0,006629
28	1,187141	0,00676
29	1,256013	0,006887
30	1,326114	0,00701
31	1,397444	0,007133
32	1,46994	0,00725
33	1,54361	0,007367
34	1,618384	0,007477
35	1,694275	0,007589
36	1,771241	0,007697

37	1,849296	0,007806
38	1,928398	0,00791
39	2,008533	0,008013
40	2,0897	0,008117
41	2,171823	0,008212
42	2,254966	0,008314
43	2,339048	0,008408
44	2,424093	0,008504
45	2,510069	0,008598
46	2,596925	0,008686
47	2,684701	0,008778
48	2,77335	0,008865
49	2,862868	0,008952
50	2,953225	0,009036
51	3,0444	0,009117
52	3,136403	0,0092
53	3,2292	0,00928
54	3,322771	0,009357
55	3,417102	0,009433
56	3,512183	0,009508
57	3,608008	0,009583
58	3,704552	0,009654
59	3,801803	0,009725
60	3,899766	0,009796
61	3,998419	0,009865
62	4,097771	0,009935
63	4,197816	0,010005
64	4,298528	0,010071
65	4,399907	0,010138
66	4,501914	0,010201
67	4,604544	0,010263
68	4,707769	0,010323
69	4,811585	0,010382
70	4,91599	0,01044
71	5,020968	0,010498
72	5,126505	0,010554
73	5,232606	0,01061
74	5,339253	0,010665
75	5,446449	0,01072
76	5,554169	0,010772

77	5,662415	0,010825
78	5,77118	0,010876
79	5,880458	0,010928
80	5,990232	0,010977
81	6,100504	0,011027
82	6,211252	0,011075
83	6,322477	0,011122
84	6,434168	0,011169
85	6,546327	0,011216
86	6,658946	0,011262
87	6,772016	0,011307
88	6,88553	0,011351
89	6,999493	0,011396
90	7,113876	0,011438
91	7,228713	0,011484
92	7,343944	0,011523
93	7,459604	0,011566
94	7,575647	0,011604
95	7,69204	0,011639
96	7,808769	0,011673
97	7,925819	0,011705
98	8,043175	0,011736
99	8,160813	0,011764
100	8,27882	0,011801
101	8,397125	0,01183
102	8,515709	0,011858
103	8,63464	0,011893
104	8,753825	0,011919
105	8,873332	0,011951
106	8,993027	0,011969
107	9,113042	0,012002
108	9,23339	0,012035
109	9,354028	0,012064
110	9,474927	0,01209
111	9,596088	0,012116
112	9,717481	0,012139
113	9,839137	0,012166
114	9,961021	0,012188
115	10,08316	0,012214
116	10,20548	0,012233
117	10,32801	0,012253
118	10,45073	0,012272
119	10,57367	0,012294
120	10,69681	0,012314
121	10,82015	0,012334
122	10,94367	0,012352
123	11,06739	0,012372
124	11,19124	0,012386

125	11,31526	0,012401
126	11,43942	0,012416
127	11,56378	0,012437
128	11,68826	0,012448
129	11,81292	0,012466
130	11,93772	0,012481
131	12,06269	0,012497
132	12,18778	0,012509
133	12,313	0,012522
134	12,43835	0,012535
135	12,56382	0,012547
136	12,68936	0,012554
137	12,81499	0,012563
138	12,94065	0,012566
139	13,06637	0,012572
140	13,19207	0,01257
141	13,31779	0,012572
142	13,44349	0,012569
143	13,56915	0,012566
144	13,69474	0,012559
145	13,82029	0,012555
146	13,94574	0,012545
147	14,07112	0,012538
148	14,19641	0,012529
149	14,32159	0,012518
150	14,44668	0,012509
151	14,57164	0,012496
152	14,69648	0,012484
153	14,82118	0,01247
154	14,94574	0,012457
155	15,07016	0,012442
156	15,19442	0,012426
157	15,31852	0,01241
158	15,44246	0,012393
159	15,56622	0,012376
160	15,68979	0,012357
161	15,81318	0,012338
162	15,93636	0,012318
163	16,05934	0,012298
164	16,18211	0,012277
165	16,30466	0,012255
166	16,427	0,012234
167	16,54909	0,01221
168	16,67094	0,012185
169	16,79256	0,012162
170	16,91387	0,012131
171	17,03493	0,012106
172	17,15568	0,012075

173	17,27606	0,012039
174	17,39599	0,011992
175	17,51539	0,01194
176	17,63389	0,011851
177	17,75291	0,011902
178	17,8716	0,011869
179	17,98949	0,011789
180	18,10744	0,011795
181	18,22538	0,011795
182	18,34318	0,011779
183	18,46067	0,01175
184	18,5779	0,011722
185	18,69478	0,011688
186	18,81134	0,011656
187	18,92752	0,011618
188	19,04335	0,011583
189	19,15883	0,011548
190	19,27392	0,011509
191	19,38862	0,011469
192	19,50292	0,011431
193	19,6168	0,011387
194	19,73027	0,011348
195	19,84334	0,011307
196	19,95598	0,011264
197	20,06818	0,01122
198	20,17993	0,011175
199	20,29117	0,011125
200	20,40192	0,011074
201	20,51217	0,011025
202	20,62196	0,010979
203	20,73132	0,010936
204	20,84027	0,010895
205	20,94873	0,010846
206	21,05667	0,010794
207	21,16407	0,01074
208	21,27091	0,010684
209	21,37718	0,010627
210	21,48286	0,010569
211	21,58796	0,01051
212	21,69246	0,010449
213	21,79639	0,010393
214	21,8997	0,010331
215	22,00239	0,010269
216	22,10443	0,010204
217	22,20582	0,010139
218	22,30656	0,010074
219	22,40663	0,010006
220	22,50601	0,009938

221	22,60471	0,00987
222	22,70269	0,009798
223	22,79995	0,009726
224	22,89649	0,009654
225	22,99231	0,009582
226	23,0874	0,009509
227	23,18173	0,009434
228	23,2753	0,009356
229	23,3681	0,00928
230	23,46011	0,009201
231	23,55134	0,009123
232	23,64175	0,009041
233	23,73136	0,008961
234	23,82012	0,008876
235	23,90804	0,008792
236	23,9951	0,008706
237	24,0813	0,00862
238	24,16661	0,008531
239	24,25104	0,008442
240	24,33454	0,008351
241	24,41712	0,008257
242	24,49873	0,008161
243	24,57942	0,008069
244	24,65913	0,007972
245	24,73784	0,007871
246	24,81553	0,007769
247	24,89218	0,007664
248	24,96775	0,007558
249	25,04223	0,007447
250	25,1156	0,007337
251	25,18782	0,007223
252	25,25888	0,007105
253	25,32874	0,006986
254	25,39739	0,006865
255	25,46479	0,00674
256	25,5309	0,006611
257	25,59571	0,00648
258	25,65916	0,006346
259	25,72125	0,006209
260	25,78194	0,006069
261	25,84118	0,005924
262	25,89893	0,005775
263	25,95515	0,005622
264	26,00979	0,005464
265	26,0628	0,005301
266	26,1141	0,005131
267	26,16362	0,004952
268	26,21123	0,004761

269	26,25682	0,004559
-----	----------	----------

269	26,27448	0,001765
-----	----------	----------

Таблиця Б.22. Градувальна таблиця розрахована програмним забезпеченням підприємства

Рівень наповнення, см	Місткість, м³	Коефіцієнт місткості, м³/мм
0	0,01	0,001
1	0,028	0,0018
2	0,054	0,0026
3	0,085	0,0031
4	0,119	0,0034
5	0,156	0,0037
6	0,196	0,004
7	0,237	0,0041
8	0,281	0,0044
9	0,327	0,0046
10	0,375	0,0048
11	0,424	0,0049
12	0,476	0,0052
13	0,529	0,0053
14	0,584	0,0055
15	0,64	0,0056
16	0,698	0,0058
17	0,758	0,006
18	0,818	0,006
19	0,881	0,0063
20	0,943	0,0062
21	1,008	0,0065
22	1,075	0,0067
23	1,142	0,0067
24	1,211	0,0069
25	1,281	0,007
26	1,353	0,0072
27	1,425	0,0072
28	1,499	0,0074
29	1,574	0,0075
30	1,649	0,0075
31	1,727	0,0078
32	1,805	0,0078
33	1,883	0,0078
34	1,963	0,008
35	2,044	0,0081
36	2,126	0,0082
37	2,21	0,0084
38	2,294	0,0084
39	2,379	0,0085
40	2,465	0,0086
41	2,552	0,0087
42	2,639	0,0087

43	2,728	0,0089
44	2,818	0,009
45	2,908	0,009
46	2,998	0,009
47	3,09	0,0092
48	3,183	0,0093
49	3,276	0,0093
50	3,371	0,0095
51	3,466	0,0095
52	3,562	0,0096
53	3,658	0,0096
54	3,755	0,0097
55	3,853	0,0098
56	3,952	0,0099
57	4,051	0,0099
58	4,151	0,01
59	4,251	0,01
60	4,352	0,0101
61	4,454	0,0102
62	4,557	0,0103
63	4,66	0,0103
64	4,764	0,0104
65	4,868	0,0104
66	4,973	0,0105
67	5,079	0,0106
68	5,185	0,0106
69	5,291	0,0106
70	5,398	0,0107
71	5,506	0,0108
72	5,613	0,0107
73	5,722	0,0109
74	5,831	0,0109
75	5,941	0,011
76	6,051	0,011
77	6,162	0,0111
78	6,273	0,0111
79	6,385	0,0112
80	6,497	0,0112
81	6,609	0,0112
82	6,722	0,0113
83	6,836	0,0114
84	6,95	0,0114
85	7,063	0,0113
86	7,178	0,0115
87	7,293	0,0115
88	7,408	0,0115

89	7,524	0,0116
90	7,641	0,0117
91	7,757	0,0116
92	7,874	0,0117
93	7,992	0,0118
94	8,109	0,0117
95	8,227	0,0118
96	8,346	0,0119
97	8,464	0,0118
98	8,582	0,0118
99	8,701	0,0119
100	8,821	0,012
101	8,941	0,012
102	9,061	0,012
103	9,181	0,012
104	9,302	0,0121
105	9,423	0,0121
106	9,544	0,0121
107	9,665	0,0121
108	9,787	0,0122
109	9,909	0,0122
110	10,031	0,0122
111	10,152	0,0121
112	10,275	0,0123
113	10,398	0,0123
114	10,521	0,0123
115	10,644	0,0123
116	10,767	0,0123
117	10,891	0,0124
118	11,014	0,0123
119	11,138	0,0124
120	11,262	0,0124
121	11,386	0,0124
122	11,511	0,0125
123	11,635	0,0124
124	11,758	0,0123
125	11,883	0,0125
126	12,008	0,0125
127	12,133	0,0125
128	12,258	0,0125
129	12,383	0,0125
130	12,508	0,0125
131	12,633	0,0125
132	12,758	0,0125
133	12,884	0,0126
134	13,009	0,0125
135	13,134	0,0125
136	13,258	0,0124
137	13,384	0,0126
138	13,509	0,0125
139	13,634	0,0125
140	13,759	0,0125

141	13,885	0,0126
142	14,01	0,0125
143	14,135	0,0125
144	14,259	0,0124
145	14,384	0,0125
146	14,509	0,0125
147	14,633	0,0124
148	14,758	0,0125
149	14,881	0,0123
150	15,005	0,0124
151	15,129	0,0124
152	15,253	0,0124
153	15,376	0,0123
154	15,5	0,0124
155	15,623	0,0123
156	15,746	0,0123
157	15,869	0,0123
158	15,992	0,0123
159	16,114	0,0122
160	16,237	0,0123
161	16,359	0,0122
162	16,479	0,012
163	16,601	0,0122
164	16,722	0,0121
165	16,843	0,0121
166	16,964	0,0121
167	17,085	0,0121
168	17,205	0,012
169	17,325	0,012
170	17,445	0,012
171	17,564	0,0119
172	17,684	0,012
173	17,803	0,0119
174	17,921	0,0118
175	18,038	0,0117
176	18,156	0,0118
177	18,274	0,0118
178	18,391	0,0117
179	18,508	0,0117
180	18,625	0,0117
181	18,741	0,0116
182	18,857	0,0116
183	18,972	0,0115
184	19,087	0,0115
185	19,202	0,0115
186	19,316	0,0114
187	19,43	0,0114
188	19,543	0,0113
189	19,656	0,0113
190	19,769	0,0113
191	19,881	0,0112
192	19,993	0,0112

193	20,104	0,0111
194	20,215	0,0111
195	20,326	0,0111
196	20,436	0,011
197	20,545	0,0109
198	20,654	0,0109
199	20,763	0,0109
200	20,871	0,0108
201	20,977	0,0106
202	21,084	0,0107
203	21,191	0,0107
204	21,297	0,0106
205	21,402	0,0105
206	21,507	0,0105
207	21,611	0,0104
208	21,714	0,0103
209	21,817	0,0103
210	21,92	0,0103
211	22,021	0,0101
212	22,122	0,0101
213	22,223	0,0101
214	22,321	0,0098
215	22,42	0,0099
216	22,518	0,0098
217	22,616	0,0098
218	22,713	0,0097
219	22,809	0,0096
220	22,904	0,0095
221	22,999	0,0095
222	23,093	0,0094
223	23,186	0,0093
224	23,278	0,0092
225	23,37	0,0092
226	23,461	0,0091

227	23,55	0,0089
228	23,639	0,0089
229	23,727	0,0088
230	23,814	0,0087
231	23,901	0,0087
232	23,987	0,0086
233	24,072	0,0085
234	24,155	0,0083
235	24,238	0,0083
236	24,321	0,0083
237	24,402	0,0081
238	24,482	0,008
239	24,561	0,0079
240	24,638	0,0077
241	24,715	0,0077
242	24,791	0,0076
243	24,867	0,0076
244	24,94	0,0073
245	25,013	0,0073
246	25,085	0,0072
247	25,155	0,007
248	25,225	0,007
249	25,293	0,0068
250	25,359	0,0066
251	25,425	0,0066
252	25,489	0,0064
253	25,551	0,0062
254	25,612	0,0061
255	25,672	0,006
256	25,731	0,0059
257	25,788	0,0057
258	25,843	0,0055
259	25,897	0,0054

ДОДАТОК В

ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО КОДУ

Програмний код візуального оформлення програмного забезпечення

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import uuid
import hashlib
from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets #
Для створення GUI за допомогою PyQt5
from PyQt5.uic import loadUi # Для
завантаження файлів UI
from multiprocessing import Process, Queue #
Для баратопоточності
from py_image import crop_max_square,
make_image, Image, scale_image # Робота з
зображеннями
#from calculation import read_file, calc_vert,
calc_hor, calc_horG # Модуль для розрахунків
import numpy as np
from draw_picture import * # Для візуалізації
from calc import * # Додаткові розрахункові
функції
from time import sleep # Для пауз у виконанні
import json
import os
from docxtpl import DocxTemplate, InlineImage
# Для роботи з DOCX-шаблонами
from docx.shared import Mm
import sys
import traceback
import logging
from multiprocessing import Process
import atexit
import signal
from datetime import datetime, timedelta
log_info("=== ПРОГРАМА ЗАПУЩЕНА ===")
# === ПЕРЕХОПЛЕННЯ ПОМИЛОК ===
def show_exception_box(msg: str):
    app = QtWidgets.QApplication.instance()
    if app:
        dialog = QtWidgets.QDialog()
        dialog.setWindowTitle("ПОМИЛКА")
        dialog.resize(1100, 700)
        layout =
QtWidgets.QVBoxLayout(dialog)
        text = QtWidgets.QTextEdit()
        text.setPlainText(msg)
        text.setReadOnly(True)
        text.setFont(QtGui.QFont("Consolas",
10))
        layout.addWidget(text)
        btn =
QtWidgets.QPushButton("Скопіювати і закрити")
        btn.clicked.connect(lambda: (
QtWidgets.QApplication.clipboard().setText(msg),
        dialog.accept()
        ))
        layout.addWidget(btn)
        dialog.exec_()
    else:
        print("ПОМИЛКА БЕЗ GUI:\n", msg)
class UncaughtHook(QtCore.QObject):
    error_signal = QtCore.pyqtSignal(str)
    def __init__(self):
        super().__init__()
self.error_signal.connect(show_exception_box)
sys.excepthook =
self.handle_exception
def handle_exception(self, etype, value,
tb):
    if
KeyboardInterrupt):
        sys.__excepthook__(etype, value,
tb)
        return
        msg
''.join(traceback.format_exception(etype,
value, tb))
        log_action("НЕСПІЙМАНА ПОМИЛКА:\n" +
msg, "ERROR") # ← ВИКОРИСТОВУЄМО log_action!
        self.error_signal.emit(msg)
# АКТИВУЄМО
uncaught_hook = UncaughtHook()
# Потік для роботи з зображеннями
class Thread(QtCore.QThread):
    """Клас для створення потоку, що працює з
зображеннями."""
    _signal = QtCore.pyqtSignal(int) # Сигнал
для оновлення GUI
    def __init__(self, dirfile, v):
        super(Thread, self).__init__()
        self.dirfile = dirfile # Директорія
файлу
    def stop(self):
        """Зупиняє виконання потоку."""
        self.wait()
    def run(self):
        """Основна логіка виконання
потоку."""
        print(all_params["Розташування
файла"])
        make_image(all_params["Розташування
файла"])
        im = Image.open('image/file.jpg') #
Відкриває зображення
        im_new = crop_max_square(im) #
Обрізає зображення до квадрату
        im_new.save('image/file_crop.jpg',
quality=95) # Зберігає обрізане зображення
        scale_image('image/file_crop.jpg',
'image/file_scaled.jpg', 500) # Масштабує
зображення
        pixmap =
QtGui.QPixmap("image/file_scaled.jpg") #
Завантажує зображення в Qt
        self._signal.emit(1) # Сигнал для
оновлення інтерфейсу
# Потік для виконання розрахунків
class Thread1(QtCore.QThread):
    """Клас для створення потоку, що виконує
розрахунки."""
    _signal = QtCore.pyqtSignal(int) # Сигнал
для оновлення GUI
    def __init__(self, dirfile):
        super(Thread1, self).__init__()
        self.dirfile = dirfile # Файл вхідних
даних
    def stop(self):
        """Зупиняє виконання потоку."""
        self.wait()
    def run(self):
        """Основна логіка виконання
потоку."""
        #if all_params["Резервуар під
тиском"] == "Горизонтальний":
            param = [all_params["Резервуар під
тиском"], all_params["Резервуар для
скрапленого газу"]]
            (all_params["Гранична абсолютна
висота наповнення"],
            all_params["Місткість на граничну
абсолютну висоту наповнення"],
            all_params["Абсолютна висота мертвої
порожнини"],
```

```

        all_params["Місткість мертвої
порожнини"])
        calculate_tank_calibration(self.dirfile,
all_params[
            "Розташування файла
ексель"], all_params["Вид
сканування"], all_params["Товщина
стілки циліндра"],

param) # Розрахунок калібрування
        """elif all_params["Резервуар під
тиском"] == "Вертикальний":
            (all_params["Гранична абсолютна
висота наповнення"],
all_params["Місткість на
граничну абсолютну висоту наповнення"],
all_params["Абсолютна висота
мертвої порожнини"],
all_params["Місткість мертвої
порожнини"])
        calculate_tank_calibration(self.dirfile,
all_params[
            "Розташування файла ексель"],
all_params["Вид
сканування"],
all_params["Товщина стінки циліндра"],

) # Розрахунок калібрування"""
        self.signal.emit(1) # Сигнал для
оновлення інтерфейсу
# Потік для оновлення статусу
class Thread2(QThread):
    """Клас для створення потоку, що оновлює
статус."""
    _signal = QtCore.pyqtSignal(str, int) #
Сигнал для оновлення тексту та статусу
    def __init__(self):
        super(Thread2, self).__init__()
    def stop(self):
        """Зупиняє виконання потоку."""
        self.wait()
    def run(self):
        """Основна логіка виконання
потоку."""
        for i in range(5):
            sleep(0.2)
            self.signal.emit("""font: bold
22px Nunito; color: #ed2e11;""", i) # Зміна
кольору
            sleep(0.2)
            self.signal.emit("""font: bold
22px Nunito; color: #0b2d82;""", i) # Зміна
кольору
class Runner(QtCore.QRunnable):
    """Клас для виконання асинхронних завдань
у фоновому потоці."""
    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.mas = None # Змінна для
збереження вхідних даних
        self.__queue = Queue() # Черга для
передачі повідомлень між процесами
        self.__net = Mnist(self.__queue) #
Об'єкт класу Mnist для обробки
        self.signals = RunnerSignal() #
Сигнали для індикації завершення завдання
        def set_n(self, mas):
            """Метод для встановлення вхідних
даних."""
            self.mas = mas
        def run(self):
            """Основна логіка виконання
завдання."""
            self.__net.set_n(self.mas) #
Передача даних у Mnist
            self.__net.start() # Запуск процесу
Mnist
            while True:
                data = self.__queue.get() #
Очікуємо дані з черги

```

```

        if data == "finished": # Якщо
процес завершився
            self.signals.finished.emit()
# Відправка сигналу про завершення
            self.__net.end_process() #
Завершення процесу Mnist
            break
class RunnerSignal(QtCore.QObject):
    """Клас для сигналів завершення
завдання."""
    finished = QtCore.pyqtSignal() # Сигнал,
що інформує про завершення завдання
class Mnist(Process):
    """Клас для виконання довготривалих
завдань у окремому процесі."""
    def __init__(self, queue: Queue):
        super().__init__()
        self.__queue = queue # Черга для
комунікації з основним потоком
        self.mas = None # Змінна для
збереження вхідних даних
        def set_n(self, mas):
            """Метод для збереження вхідних
даних."""
            self.mas = mas
        def run(self):
            """Основна логіка виконання
процесу."""
            all_params = self.mas
            doc = DocxTemplate("doc/Шаблон.docx")
# Завантаження шаблону документа
            image = InlineImage(doc,
'image/sketch1.png', width=Mm(195),
height=Mm(130)) # Вставка зображення
            with open("doc/w.json", "r") as r:
                text = json.load(r) #
Завантаження додаткових даних із файлу JSON
            # Формування контексту для рендерингу
шаблону
            if all_params["Вид сканування"] ==
"Зовнішній":
                _nuz = "зовні"
            else:
                _nuz = "зсередини"
            if all_params["Резервуар для
скрапленого газу"] is not None:
                type_rez = "для скрапленого газу"
            else:
                if all_params["Вид резервуару"]
== "Горизонтальний":
                    type_rez = "горизонтальний"
                elif all_params["Вид резервуару"]
== "Вертикальний":
                    type_rez = "вертикальний"
            from datetime import datetime
            from dateutil.relativedelta import
relativedelta
            date_str = all_params["Дата
вимірювання"]
            date_obj =
datetime.strptime(date_str, "%d.%m.%Y")
            # Додаємо точно 5 років
            new_date_obj = date_obj +
relativedelta(years=5)
            new_date_str =
new_date_obj.strftime("%d.%m.%Y")
            context = {
                'погоджено':
all_params["Погоджено"], 'посада1':
all_params["Посада1"],
                'затверджено':
all_params["Затверджено"], 'посада2':
all_params["Посада2"],
                'тип': all_params["Тип
резервуару"], 'тип_резерв': type_rez,
                'номер': all_params["Номер"],
                'організація': all_params["Організація-
власник"],

```

```

        'адреса': all_params["Місце
встановлення резервуару (місце проведення
вимірювань)"], 'призн':
all_params["Призначення резервуару"],
        'номінМіст':
all_params["Номинальна
місткість"], 'гранНаповн':
all_params["Гранична абсолютна висота
наповнення"],
        'містНагранНаповн':
all_params["Місткість на граничну абсолютну
висоту наповнення"], 'мертваПорожн':
all_params["Місткість мертвої порожнини"],
        'базова': all_params["Базова
висота"], 'гранПохиб': "0.08",
        'дата1': all_params["Дата
вимірювання"], 'дата2': all_params["Дата
реєстрації"], 'дата3': str(new_date_str),
        'реєстр':
all_params["Реєстраційний номер"], 'ДСТУ':
all_params["ДСТУ"][0],
        'звт': all_params["Засоби
вимірювальної техніки (ЗВТ)"], 'видСкан':
_nuz,
        'тиск': all_params["Атмосферний
тиск, кПа"], 'тем': all_params["Температура
повітря, °C"],
        'назваМетод':
all_params["ДСТУ"][1], 'висМертв':
all_params["Абсолютна висота мертвої
порожнини"],
        'енж': all_params["Провідний
інженер"], 'рис': image
    }
    context.update(text) # Додавання
даних із JSON до контексту
    doc.render(context) # Заповнення
шаблону даними
    doc.save(all_params["Розташування
файла ворд"]) # Збереження документа
    self.__queue.put("finished") #
Відправка повідомлення про завершення у чергу
    def end_process(self):
        """Метод для завершення процесу."""
        self.terminate()
# Хешування пароля
def hash_password(password):
    """Генерує хеш пароля із додаванням
випадкової 'солі'."""
    salt = uuid.uuid4().hex # Генерація
випадкової 'солі'
    return hashlib.sha256(salt.encode() +
password.encode()).hexdigest() + ':' + salt
# Перевірка пароля
def check_password(hashed_password,
user_password):
    """Перевіряє, чи співпадає пароль
користувача із збереженим хешем."""
    password, salt =
hashed_password.split(':') # Розділення хешу
та солі
    return password ==
hashlib.sha256(salt.encode() +
user_password.encode()).hexdigest()
# Екран авторизації
class LoginScreen(QtWidgets.QDialog):
    """Клас для реалізації екрану входу в
систему."""
    def __init__(self, parent=None):
        super(LoginScreen,
self).__init__(parent)
        loadUi("ui/login.ui", self) #
Завантаження інтерфейсу з файлу

self.setWindowIcon(QtGui.QIcon('image/login.p
ng')) # Установка іконки вікна

self.login.clicked.connect(self.loginfunction
) # Підключення кнопки входу

```

```

self.new_2.clicked.connect(self.signfunction)
# Підключення кнопки реєстрації
self.error.hide() # Сховати
повідомлення про помилки
self.icon = QtGui.QIcon('image/eye-
icon.png') # Іконка для кнопки відображення
пароля
self.icon1 = QtGui.QIcon('image/eye-
icon-.png') # Іконка для кнопки приховування
пароля
self.showPassAction =
QtWidgets.QAction(self.icon, 'Show password',
self) # Дія для зміни режиму відображення
пароля
self.passwordfield.addAction(
self.showPassAction,
QtWidgets.QLineEdit.TrailingPosition)

self.showPassAction.setCheckable(True) #
Зміна стану кнопки

self.showPassAction.toggled.connect(self.show
Password) # Обробка кліку по кнопці

self.passwordfield.setEchoMode(QtWidgets.QLin
eEdit.Password) # Початковий режим поля
пароля
self.password_shown = False # Стан
відображення пароля
def showPassword(self):
    """Метод для переключення режиму
відображення пароля."""
    if not self.password_shown:

self.showPassAction.setIcon(self.icon1) #
Зміна іконки

self.passwordfield.setEchoMode(QtWidgets.QLin
eEdit.Normal) # Відобразити пароль
self.password_shown = True
    else:

self.showPassAction.setIcon(self.icon) #
Зміна іконки

self.passwordfield.setEchoMode(QtWidgets.QLin
eEdit.Password) # Приховувати пароль
self.password_shown = False
    def signfunction(self):
        """Метод для переходу до екрану
реєстрації."""
        self.exPopup = CreateAccScreen(self)
        self.exPopup.show()
        def loginfunction(self):
            """Метод для авторизації
користувача."""
            error = ""
            if self.emailfield.text() != "" and
self.passwordfield.text() != "":
                try:
                    with open("doc/p.json", "r")
as r:
                        text = json.load(r) #
Завантаження списку користувачів
                        er = True
                        for i in text:
                            if self.emailfield.text()
== i['login']: # Перевірка логіна
                                if
check_password(i['password'],
self.passwordfield.text()): # Перевірка
пароля
                                    self.exPopup =
MainWin(self) # Перехід до головного вікна
                                    self.exPopup.show()
                                else:

```

```

        error +=
"Невірний пароль."
        er = False
        if er:
            error += "Немає
користувача з таким логіном. "
        except:
            error += "Немає жодного
користувача. "
        else:
            if self.emailfield.text() == "":
                error += "Введіть логін. "
            if self.passwordfield.text() ==
"":
                error += "Введіть пароль. "
            if error != "":
                self.error.setText(error) #
Відображення повідомлення про помилку
                self.error.show()
class CreateAccScreen(QDialog):
    """Клас CreateAccScreen створює вікно для
реєстрації нового користувача.
Він забезпечує:
- Обробку введення даних (логін, пароль,
підтвердження пароля, пароль адміністратора).
- Відображення та приховування паролів.
- Валідацію введених даних і запис у файл
JSON при успішній реєстрації.
    def __init__(self, parent=None):
        """
        Ініціалізує вікно створення
облікового запису.
        """
        super(CreateAccScreen,
self).__init__(
parent.close() # Закриває батьківське
вікно.

self.setWindowIcon(QtGui.QIcon('image/sign.pn
g')) # Встановлює іконку вікна.
loadUi("ui/createacc.ui", self) #
Завантажує дизайн із файлу .ui.
self.admin_password = "123" # Пароль
адміністратора для перевірки.

self.signup.clicked.connect(self.signupfuncti
on) # Підключення кнопки "Реєстрація" до
функції.
self.error.hide() # Ховає поле
повідомлення про помилки.
# Іконки для відображення пароля.
self.icon = QtGui.QIcon('image/eye-
icon.png')
self.icon1 = QtGui.QIcon('image/eye-
icon-.png')
# Додавання функціоналу відображення
паролів.
self.showPassAction =
QtWidgets.QAction(self.icon, 'Show password',
self)
self.passwordfield.addAction(
self.showPassAction,
QtWidgets.QLineEdit.TrailingPosition)
self.showPassAction.setCheckable(True)

self.showPassAction.toggled.connect(self.show
Password)

self.passwordfield.setEchoMode(QtWidgets.QLin
eEdit.Password)
self.password_shown = False
self.showPassAction_2 =
QtWidgets.QAction(self.icon, 'Show password',
self)
self.confirmpasswordfield.addAction(
self.showPassAction_2,
QtWidgets.QLineEdit.TrailingPosition)

```

```

self.showPassAction_2.setCheckable(True)

self.showPassAction_2.toggled.connect(self.sh
owPassword_2)

self.confirmpasswordfield.setEchoMode(QtWidge
ts.QLineEdit.Password)
self.password_shown_2 = False
self.showPassAction_3 =
QtWidgets.QAction(self.icon, 'Show password',
self)
self.pass_admin.addAction(
self.showPassAction_3,
QtWidgets.QLineEdit.TrailingPosition)

self.showPassAction_3.setCheckable(True)

self.showPassAction_3.toggled.connect(self.sh
owPassword_3)

self.pass_admin.setEchoMode(QtWidgets.QLineEdit
.Password)
self.password_shown_3 = False
def showPassword(self):
    """
    Відображає або приховує основний
пароль, змінюючи режим відображення тексту в
полі.
    """
    if not self.password_shown:

self.showPassAction.setIcon(self.icon1)

self.passwordfield.setEchoMode(QtWidgets.QLin
eEdit.Normal)
self.password_shown = True
    else:

self.showPassAction.setIcon(self.icon)

self.passwordfield.setEchoMode(QtWidgets.QLin
eEdit.Password)
self.password_shown = False
def showPassword_2(self):
    """
    Відображає або приховує підтвердження
пароля.
    """
    if not self.password_shown_2:

self.showPassAction_2.setIcon(self.icon1)

self.confirmpasswordfield.setEchoMode(QtWidge
ts.QLineEdit.Normal)
self.password_shown_2 = True
    else:

self.showPassAction_2.setIcon(self.icon)

self.confirmpasswordfield.setEchoMode(QtWidge
ts.QLineEdit.Password)
self.password_shown_2 = False
def showPassword_3(self):
    """
    Відображає або приховує пароль
адміністратора.
    """
    if not self.password_shown_3:

self.showPassAction_3.setIcon(self.icon1)

self.pass_admin.setEchoMode(QtWidgets.QLineEdit
.Normal)
self.password_shown_3 = True
    else:

self.showPassAction_3.setIcon(self.icon)

```

```

self.pass_admin.setEchoMode(QtWidgets.QLineEdit.Password)

    self.password_shown_3 = False
    def signupfunction(self):
        """
        Виконує перевірку введених даних,
        реєструє нового користувача або виводить
        повідомлення про помилку.
        """
        error = "" # Поле для накопичення
        повідомлень про помилки.
        # Перевірка введених даних.
        if self.passwordfield.text() ==
self.confirmpasswordfield.text() and \
            self.emailfield.text() != ""
        and self.pass_admin.text() ==
self.admin_password:
            try:
                # Якщо файл з користувачами
                існує, завантажуюмо його.
                with open("doc/p.json", "r")
                as r:
                    text = json.load(r)
                    er = True
                    # Перевіряємо, чи існує логін
                    у списку.
                    for i in text:
                        if i['login'] ==
self.emailfield.text():
                            error += "Логін вже
існує."
                            er = False
                            break
                    # Додаємо нового користувача.
                    if er:
                        data = {"login":
self.emailfield.text(), "password":
hash_password(self.passwordfield.text())}
                        text.append(data)
                        with open("doc/p.json",
"w") as write_file:
                            json.dump(text,
write_file)
                        self.exPopup =
MainWin(self)
                        self.exPopup.show()
            except:
                # Якщо файл не існує,
                створюємо новий.
                data = [{"login":
self.emailfield.text(), "password":
hash_password(self.passwordfield.text())}]
                with open("doc/p.json", "w")
                as write_file:
                    json.dump(data,
write_file)
                self.exPopup = MainWin(self)
                self.exPopup.show()
                # Додаємо помилки, якщо введені дані
                некоректні.
                if self.emailfield.text() == "":
                    error += "Введіть логін. "
                if self.passwordfield.text() == "":
                    error += "Введіть пароль. "
                if self.confirmpasswordfield.text()
                == "":
                    error += "Введіть повторно пароль. "
                if self.passwordfield.text() !=
self.confirmpasswordfield.text() and \
                    self.passwordfield.text() !=
"" and self.confirmpasswordfield.text() != "":
                    error += "Паролі не збігаються. "
                if self.pass_admin.text() == "":
                    error += "\nВведіть пароль
адміністратора. "

```

```

        if self.pass_admin.text() !=
self.admin_password and self.pass_admin.text()
        != "":
            error += "\nПароль адміністратора
невірний. "
            if self.pass_admin.text() == "" and
self.confirmpasswordfield.text() == "" \
                and self.passwordfield.text()
                == "" and self.emailfield.text() == "":
                error = "Нічого не введено."
                # Виводимо помилки, якщо вони є.
                if error != "":
                    self.error.setText(error)
                    self.error.show()
class Cal(QtWidgets.QMainWindow):
    """
    Клас Cal створює головне вікно для роботи
    з календарем.
    """
    def __init__(self, parent=None):
        """
        Ініціалізує вікно календаря.
        """
        super(Cal, self).__init__(parent)
        loadUi("ui/calendar.ui", self) #
        Завантажує дизайн із файлу .ui.
        all_params = {"Вид резервуару": None, "Базова
висота": None, "Номінальна місткість": None,
            "Вид сканування":
None, "Розташування файла": None, "Назва
файла": None,
            "Розташування файла ексель":
None, "Назва файла ексель": None,
            "Розташування файла ворд":
None, "Назва файла ворд": None,
            "Переднє днище": None, "Заднє
днище": None,
            "Товщина стінки циліндра":
None, "Товщина стінки днища": None, "Товщина
шару покриття циліндра": None,
            "Товщина шару покриття днища":
None, "Границі похибки товщини резервуару":
None, "Границі похибки товщини покриття":
None,
            "Максимальний тиск в резервуарі
під час експлуатації": None, "Густина рідини в
резервуарі при зберіганні": None,
            "Резервуар під тиском":
None, "Резервуар для скрапленого газу": None,
            "Гранична абсолютна висота
наповнення": None, "Місткість на граничну
абсолютну висоту наповнення": None,
            "Абсолютна висота мертвої
порожнини": None, "Місткість мертвої
порожнини": None,
            "Назва резервуару": None, "Тип
резервуару": None, "Номер": None,
            "Призначення резервуару":
None, "Реєстраційний номер": None,
            "Затверджено": None, "Посада":
None,
            "Погоджено": None, "Посада1":
None,
            "Засоби виміральної техніки
(ЗВТ)": None, "Дата реєстрації": None, "Дата
вимірювання": None,
            "Місце встановлення
резервуару (місце проведення вимірювань)":
None,
            "Атмосферний тиск, кПа":
None, "Температура повітря, °C": None,
            "Провідний інженер":
None, "Організація-власник": None,
            "ДСТУ": None}
class MainWin(QtWidgets.QMainWindow):
    """Клас MainWin відповідає за
функціонал головного вікна додатку.
Він забезпечує роботу з різними типами
даних, файлами та інтерфейсними компонентами,

```

```

такими як радіокнопки, поля введення, кнопки
тощо."""
    def __init__(self, parent=None):
        """
        Ініціалізує головне вікно, задає
        початкові налаштування та підключає обробники
        подій.
        """
        super(MainWin, self).__init__()
        parent.close() # Закриває
        батьківське вікно.
        loadUi("ui/main.ui", self) #
        Завантаження дизайну з файлу .ui.
        qt_exception_hook =
        UncaughtHook() # Механізм обробки виключень.

        self.setWindowIcon(QtGui.QIcon('image/logo.png')) # Встановлює іконку програми.
        self.showMaximized()

        self.dali.clicked.connect(self.on_click_dali)

        self.pushButton_calk.clicked.connect(self.on_click_calk)

        self.pushButton_data1.clicked.connect(self.on_click_data)

        self.pushButton_data2.clicked.connect(self.on_click_data1)

        self.pushButton_zvit.clicked.connect(self.on_click_zvit)

        self.pushButton_download.clicked.connect(self.getFile)

        self.to_word.clicked.connect(self.on_click_word)
        # Налаштування потоків для
        виконання завдань у фоновому режимі.
        self.__runner = Runner()
        self.__pool =
        QtCore.QThreadPool.globalInstance()

        self.__runner.signals.finished.connect(self._on_finished)

        self.clear_address.clicked.connect(self.on_click_clear_address)

        self.pushButton_clear.clicked.connect(self.on_click_clear_all)
        self.excel_1.hide()
        self.progressBar1.hide()
        self.progressBar1.setValue(0)
        self.progressBar2.hide()
        self.progressBar2.setValue(0)
        self.progressBar4.hide()
        self.exPopup = Cal(self) #
        Створення вікна календаря.
        self.dirfile = "" # Шлях до
        вибраного файлу.
        self.kod = 0 # Змінна для вибору
        дати.
        self.kod1 = 1 # Статус вибору
        файлу.

        self.exPopup.pushButton.clicked.connect(self.on_click)

        self.exPopup.calendarWidget.clicked['QDate'].
        connect(self.show_date)
        self.non.hide()

        self.radioButton_vert.toggled.connect(self.onClickedRadio)

```

```

        self.radioButton_horiz.toggled.connect(self.onClickedRadio)

        self.radioButton_horizG.toggled.connect(self.onClickedRadio2)

        self.radioButton_tusk.toggled.connect(self.onClickedRadio3)
        self.radioButton_verh = ""

        self.radioButton_vnutr.toggled.connect(self.onClickedRadio1)

        self.radioButton_zovn.toggled.connect(self.onClickedRadio1)
        self.d_zvit.hide()
        self.radioButton_nuz = ""
        self.radioButton_horizGaz = ""
        self.right = ""
        self.left = ""
        self.filename = "" # Документ для
        Word.
        self.filename1 = "" # Документ
        для Excel.
        # Ховання непотрібних елементів
        при запуску.
        self.text_form.hide()
        self.comboBox_1.hide()
        self.comboBox_2.hide()
        self.text_p.hide()
        self.text_z.hide()
        self.radioButton_tusk.hide()
        self.radioButton_horizG.hide()
        self.tusk_G = False
        self.pushButton_file.hide()
        # Встановлення зображення в
        елемент ескизу.
        pixmap =
        QtGui.QPixmap("image/sketch1.png")
        pixmap = pixmap.scaled(1200, 600)
        self.eskiz.setPixmap(pixmap)
        def center(self):
            """
            Центрує головне вікно програми на
            екрані.
            """
            qr = self.frameGeometry()
            cp =
            QtWidgets.QDesktopWidget().availableGeometry().center()
            qr.moveCenter(cp)
            self.move(qr.topLeft())
        def on_click_clear_all(self):
            self.d_zvit.hide()
            self.name_rez.setText("")
            self.type.setText("")
            self.number.setText("")
            self.pruzn.setText("")
            self.number_r.setText("")
            self.zatv.setText("")
            self.zatv_pos.setText("")
            self.pog.setText("")
            self.pog_pos.setText("")
            self.address.setText("")
            self.engineer.setText("")
            self.org_vlas.setText("")
            self.zvt.setText("")
            self.data1.setText("")
            self.data2.setText("")
        def on_click_clear_address(self):
            """
            Очищає поле введення
            адреси.
            """
            self.address.setText("")
        def on_click_word(self):
            """

```

Зберігає звіт у форматі Word на основі введених даних і вибраних параметрів.

```

        """
        file =
os.path.basename(all_params["Розташування
файла"])
        file = file.split('.')[0]
        file += ".docx"
        default_filename =
os.path.join(file)
        filename,
QtWidgets.QFileDialog.getSaveFileName(
self,
default_filename, " (*.docx)"
)
        all_params["Розташування
файла ворд"] = filename
        if self.radioButton_verh ==
"Горизонтальний":
            all_params["ДСТУ"] =
["ДСТУ 7475:2016", "Метрологія. Резервуари
сталеві циліндричні горизонтальні. Методика
півірки (калібрування) геометричним методом з
застосуванням геодезичних
приладів", "горизонтальний"]
            if self.radioButton_horizGaz
== "Резервуар для скрапленого газу":
                all_params["ДСТУ"] =
["ДСТУ 7364:2016", "Метрологія. Резервуари для
скрапленого газу сталеві циліндричні
горизонтальні. Методика півірки
(калібрування) геометричним методом з
застосуванням геодезичних
приладів", "горизонтальний"]
            if self.radioButton_verh ==
"Вертикальний":
                all_params["ДСТУ"] =
["ДСТУ 7473:2016", "Метрологія. Резервуари
стаціонарні вимірювальні вертикальні.
Методика півірки (калібрування) геометричним
методом з застосуванням геодезичних
приладів", "вертикальний"]
            if filename:
                name_rez
all_params["Назва резервуару"] =
self.name_rez.toPlainText()
                type
all_params["Тип резервуару"] =
self.type.text()
                number
all_params["Номер"] = self.number.text()
                pruzn
all_params["Призначення резервуару"] =
self.pruzn.text()
                number_r
all_params["Реєстраційний номер"] =
self.number_r.text()
                zatv=all_params["Затверджено"]
self.zatv.text()
                zatv_pos=all_params["Посада"]
self.zatv_pos.text()
                pog=all_params["Погоджено"] = self.pog.text()
                pog_pos=all_params["Посада1"]
self.pog_pos.text()
                address=all_params["Місце встановлення
резервуару(місце проведення вимірювань)"] =
self.address.toPlainText()
                engineer=all_params["Провідний інженер"] =
self.engineer.text()
                org_vlas=all_params["Організація-власник"] =
self.org_vlas.toPlainText()

```

```

zvt=all_params["Засоби вимірювальної техніки
(ЗБТ)"] = self.zvt.toPlainText()

data1=all_params["Дата реєстрації"] =
self.data1.text()
        data2
all_params["Дата вимірювання"] =
self.data2.text()
        data = {
            "name_rez":
name_rez,
            "type": type,
            "number": number, "pruzn": pruzn,
            "number_r":
number_r, "zatv": zatv, "zatv_pos": zatv_pos,
            "pog": pog,
            "pog_pos":pog_pos, "address": address,
            "engineer":
engineer, "zvt":zvt,
            "org_vlas":
org_vlas, "data1": data1, "data2": data2
        }
        with
open("doc/zvit.json", "w") as write_file:
            json.dump(data, write_file)
            self.filename =
os.path.basename(filename)
            self.progressBar4.show()
            self.showMaximized()
            self.to_word.setDisabled(True)
            runner = all_params
            self.__runner.set_n(runner)#####
            self.__pool.start(self.__runner)
            def __on_finished(self):
                self.__runner = Runner()
                self.__pool
QtCore.QThreadPool.globalInstance()
            self.__runner.signals.finished.connect(self.__
on_finished)
            self.to_word.setEnabled(True)
            file
os.path.basename(self.filename)
            file = file.split('.')[0]
            self.d_zvit.setText('Збережено у файл: ' +
file + '.docx')
            self.progressBar4.hide()
            self.d_zvit.show()
            self.showMaximized()
            def onClickedRadio(self):
                radio_button
self.buttonGroup.sender()
                if radio_button.isChecked():
                    self.radioButton_verh =
radio_button.text()
                    if self.radioButton_verh
== "Горизонтальний":
                        log_user(f"Користувач
обрав Горизонтальний резервуар")
                        self.text_form.show()
                    self.comboBox_1.show()
                self.comboBox_2.show()
                self.text_p.show()
                self.text_z.show()
            self.radioButton_horizG.show()
            else:
                log_user(f"Користувач
обрав Вертикальний резервуар")
                self.text_form.hide()

```

```

self.comboBox_1.hide()

self.comboBox_2.hide()
        self.text_p.hide()
        self.text_z.hide()

self.radioButton_horizG.hide()
    def onClickedRadio1(self):
        radio_button =
self.buttonGroup_2.sender()
        if radio_button.isChecked():
            self.radioButton_nuz
= radio_button.text()
            if
radio_button.text() == "Зовнішній":
self.radioButton_tusk.show()
            else:

self.radioButton_tusk.hide()
    def onClickedRadio2(self):
        radio_button =
self.radioButton_horizG.sender()
        if radio_button.isChecked():
            self.radioButton_horizGaz
= radio_button.text()
            all_params["Резервуар для
скрапленого газу"] = radio_button.text()
            else:
                self.radioButton_horizGaz
= ""
    def onClickedRadio3(self):
        radio_button =
self.radioButton_tusk.sender()
        if radio_button.isChecked():
            all_params["Резервуар під
тиском"] = radio_button.text()
            self.tusk_G = True
            else:
                self.tusk_G = False
    def getFile(self): # <-----
        self.kod1 = 0
        self.dirfile =
QtWidgets.QFileDialog.getOpenFileName(self,
"Оберіть файл", ".", "Файли (*.xyz)")[0]
        if self.dirfile != "":
            all_params["Назва
файла"] = os.path.basename(self.dirfile)

self.text_file.setText('Обрано файл: ' +
os.path.basename(self.dirfile))
            else:
                self.kod1 = 1
    def on_click(self):
        self.exPopup.close()
    def show_date(self):
        self.date =
self.exPopup.calendarWidget.selectedDate().to
String('dd.MM.yyyy')

self.exPopup.label.setText(self.date)
        if self.kod == 1:

self.data1.setText(self.date)
            elif self.kod == 2:

self.data2.setText(self.date)
    def signal_accept(self, i):
        self.thread.stop()
        self.dali.setEnabled(True)
        self.progressBar1.hide()
        self.tabWidget.setCurrentIndex(1)
        pixmap =
QtGui.QPixmap("image/file_scaled.jpg")
        self.pereriz.setPixmap(pixmap)
        self.center()
        self.showMaximized()
    def signal_accept1(self, msg):
        self.thread1.stop()
        if self.radioButton_verh ==
"Горизонтальний":
            self.progressBar2.setValue(0)

self.pushButton_calk.setEnabled(True)
            self.progressBar2.hide()
            file = all_params["Назва
файла ексель"]

self.excel_1.setText('Збережено у файл: ' +
file)
            self.excel_1.show()
            img =
Image.open("image/sketch.png")
            draw = ImageDraw.Draw(img)
            # Відображення лівого і
правого торця резервуара.
            if self.left == "Плоска":
                draw = left_line(draw)
            elif self.left ==
"Еліптична":
                draw = left_arc(draw)
            elif self.left == "Сферична":
                draw = left_arc(draw)
            elif self.left == "Конічна":
                draw =
left_line_cone(draw)
            elif self.left == "Сферичний
сегмент":
                draw = left_arc_50(draw)
            elif self.left == "Зрізаний
конус":
                draw =
left_line_cone_50(draw)
            if self.right == "Плоска":
                draw = right_line(draw)
            elif self.right ==
"Еліптична":
                draw = right_arc(draw)
            elif self.right ==
"Сферична":
                draw = right_arc(draw)
            elif self.right == "Конічна":
                draw =
right_line_cone(draw)
            elif self.right == "Сферичний
сегмент":
                draw = right_arc_50(draw)
            elif self.right == "Зрізаний
конус":
                draw =
right_line_cone_50(draw)
            draw =
text_to_picture(all_params["Базова висота"],
all_params["Гранична абсолютна висота
наповнення"],
all_params["Місткість на граничну абсолютну
висоту наповнення"],
all_params["Абсолютна висота мертвої
порожнини"],
all_params["Місткість мертвої порожнини"],
draw)
            img.save('image/sketch1.png')
            pixmap =
QtGui.QPixmap("image/sketch1.png")
            pixmap = pixmap.scaled(1200,
600)
            self.eskiz.setPixmap(pixmap)

self.tabWidget.setCurrentIndex(2)
            self.center()
            self.showMaximized()
            elif self.radioButton_verh ==
"Вертикальний":

```

```

        self.progressBar2.setValue(0)

self.pushButton_calk.setEnabled(True)
        self.progressBar2.hide()
        file =
os.path.basename(self.dirfile)

self.excel_1.setText('Збережено у файл: ' +
file.split('.')[0] + '.xlsx')
        self.excel_1.show()
        img =
Image.open("image/sketchA.png")
        draw = ImageDraw.Draw(img)
        draw =
text_to_picture(all_params["Базова висота"],

all_params["Гранична абсолютна висота
наповнення"],

all_params["Місткість на граничну абсолютну
висоту наповнення"],

all_params["Абсолютна висота мертвої
порожнини"],

all_params["Місткість мертвої порожнини"],
draw)
        img.save('image/sketch1.png')
        pixmap =
QtGui.QPixmap("image/sketch1.png")
        pixmap = pixmap.scaled(1200,
600)
        self.eskiz.setPixmap(pixmap)

self.tabWidget.setCurrentIndex(2)
        self.center()
        self.showMaximized()
        self.showMaximized()
def signal_text_vud(self, msg, i):
        self.text_vud.setStyleSheet(msg)
        if i == 4:
            self.thread.terminate()

self.text_vud.setStyleSheet("""font: bold
22px Nunito; color: #0B2D82;""")
        def signal_text_skan(self, msg, i):
            self.text_skan.setStyleSheet(msg)
            if i == 4:
                self.thread1.terminate()

self.text_skan.setStyleSheet("""font: bold
22px Nunito; color: #0B2D82;""")
        def signal_text_download(self, msg,
i):

self.text_download.setStyleSheet(msg)
        if i == 4:
            self.thread2.stop()

self.text_download.setStyleSheet("""font:
bold 22px Nunito; color: #0B2D82;""")
        def signal_text_p(self, msg, i):
            self.text_p.setStyleSheet(msg)
            if i == 4:
                self.thread3.terminate()

self.text_p.setStyleSheet("""font: bold 22px
Nunito; color: #0B2D82;""")
        def signal_text_z(self, msg, i):
            """
            Змінює стиль тексту елементу
            text_z під час обробки.
            """
            self.text_z.setStyleSheet(msg)
            if i == 4:
                self.thread4.terminate()

self.text_z.setStyleSheet("""font: bold 22px
Nunito; color: #0B2D82;""")

```

```

        def signal_baz_v(self, msg, i):
            self.vus.setStyleSheet(msg)
            if i == 4:
                self.thread5.stop()

self.vus.setStyleSheet("""font: bold 22px
Nunito; color: #0B2D82;""")
        def signal_nom_m(self, msg, i):
            self.mist.setStyleSheet(msg)
            if i == 4:
                self.thread6.stop()

self.mist.setStyleSheet("""font: bold 22px
Nunito; color: #0B2D82;""")
        def on_click_calk(self):
            self.showMaximized()
            if self.tov.text() != "":
                file = all_params["Назва
файла"]
                file += ".xlsx"
                default_filename =
os.path.join(file,
                filename,
                =
QtWidgets.QFileDialog.getSaveFileName(
                self,
                "",
                default_filename, " (*.xlsx)"
                )
                if filename:
                    all_params["Розташування
файла ексель"] = filename
                    all_params["Назва файла
ексель"] = os.path.basename(filename)
                    self.progressBar2.show()
                    self.showMaximized()
                    all_params["Товщина
стілки циліндра"] = self.tov.text()
                    all_params["Товщина
стілки днища"] = self.tov_dn.text()
                    all_params["Товщина шару
покриття циліндра"] = self.tov_kr.text()
                    all_params["Товщина шару
покриття днища"] = self.tov_kr_dn.text()
                    all_params["Границі
похибки товщини резервуару"] =
self.poh_tovch.text()
                    all_params["Границі
похибки товщини покриття"] =
self.poh_kr.text()
                    all_params["Максимальний
тиск в резервуарі під час експлуатації"] =
self.max_tusk.text()
                    all_params["Густина
рідини в резервуарі при зберіганні"] =
self.gystuna.text()
                    all_params["Атмосферний
тиск, кПа"] = self.tusk.text()
                    all_params["Температура
повітря, °C"] = self.temp.text()
                    #all_params["Резервуар
під тиском"] = self.tov.text()
                    #all_params["Резервуар
для скрапленого газу"] = self.tov.text()
                    self.showMaximized()
                    self.thread1 =
Thread1(self.dirfile)

self.thread1._signal.connect(self.signal_acce
pt1)
                    self.thread1.start()

self.pushButton_calk.setEnabled(False)
        def on_click_dali(self):
            self.showMaximized()
            if self.kodl == 0 and
self.radioButton_verh == "Горизонтальний" \
and self.radioButton_nuz
!= "" and self.comboBox_1.currentText() != ""
\

```

```

        and
self.comboBox_2.currentText() != "" and
self.baz_v.text() != "" and self.nom_m.text()
!= "":
        self.right
        =
self.comboBox_2.currentText()
        self.left
        =
self.comboBox_1.currentText()
        self.non.hide()
        self.progressBar1.show()
        all_params["Вид резервуару"]
= "Горизонтальний"
        all_params["Базова висота"] =
self.baz_v.text()
        all_params["Номінальна
місткість"] = self.nom_m.text()
        all_params["Вид сканування"]
= self.radioButton_nuz
        all_params["Розташування
файла"] = self.dirfile
        all_params["Передне днище"] =
self.comboBox_1.currentText()
        all_params["Задне днище"] =
self.comboBox_2.currentText()
        log_user(f"Користувач
натиснув кнопку далі")
        self.thread
        =
Thread(self.dirfile, True)

self.thread._signal.connect(self.signal_accep
t)
        self.thread.start()
        self.dali.setEnabled(False)
        elif self.kod1 == 0 and
self.radioButton_verh == "Вертикальний" \
        and self.radioButton_nuz
!= "" and self.baz_v.text() != "" and
self.nom_m.text() != "":
        self.right
        =
self.comboBox_2.currentText()
        self.left
        =
self.comboBox_1.currentText()
        all_params["Вид резервуару"]
= "Вертикальний"
        all_params["Базова висота"] =
self.baz_v.text()
        all_params["Номінальна
місткість"] = self.nom_m.text()
        all_params["Вид сканування"]
= self.radioButton_nuz
        all_params["Розташування
файла"] = self.dirfile
        log_user(f"Користувач
натиснув кнопку далі")
        self.non.hide()
        self.progressBar1.show()
        self.thread
        =
Thread(self.dirfile, False)

self.thread._signal.connect(self.signal_accep
t)
        self.thread.start()
        self.dali.setEnabled(False)
        else:
        self.showMaximized()
        self.non.setText("Не
        обрано!
        ")
        log_user(f"Користувач
натиснув кнопку далі, але він не все обрав у
вікні")
        self.non.show()
        self.center()
        if self.radioButton_verh ==
"":
        self.thread = Thread2()

self.thread._signal.connect(self.signal_text_
vud)
        self.thread.start()

```

```

        if self.baz_v.text() == "":
        self.thread5 = Thread2()

self.thread5._signal.connect(self.signal_baz_
v)
        self.thread5.start()
        if self.nom_m.text() == "":
        self.thread6 = Thread2()

self.thread6._signal.connect(self.signal_nom_
m)
        self.thread6.start()
        if self.radioButton_nuz ==
"":
        self.thread1 = Thread2()

self.thread1._signal.connect(self.signal_text_
_skan)
        self.thread1.start()
        if self.kod1 != 0:
        self.thread2 = Thread2()

self.thread2._signal.connect(self.signal_text_
_download)
        self.thread2.start()
        if
self.comboBox_1.currentText() == "":
        self.thread3 = Thread2()

self.thread3._signal.connect(self.signal_text_
_p)
        self.thread3.start()
        if
self.comboBox_2.currentText() == "":
        self.thread4 = Thread2()

self.thread4._signal.connect(self.signal_text_
_z)
        self.thread4.start()
        def on_click_zvit(self):
        self.showMaximized()
        try:
        with open("doc/zvit.json",
"r") as r:
        text = json.load(r)

self.name_rez.setText(text["name_rez"])

self.type.setText(text["type"])

self.number.setText(text["number"])

self.pruzn.setText(text["pruzn"])

self.number_r.setText(text["number_r"])

self.zatv.setText(text["zatv"])

self.zatv_pos.setText(text["zatv_pos"])
        self.pog.setText(text["pog"])

self.pog_pos.setText(text["pog_pos"])
        self.zvt.setText(text["zvt"])

self.address.setText(text["address"])

self.engineer.setText(text["engineer"])

self.org_vlas.setText(text["org_vlas"])

self.data1.setText(text["data1"])

self.data2.setText(text["data2"])
        except:
        pass
        self.tabWidget.setCurrentIndex(3)
        self.center()
        self.showMaximized()
        def on_click_data(self):

```

```

        self.kod = 1
        self.exPopup.show()
    def on_click_data1(self):
        self.kod = 2
        self.exPopup.show()
if __name__ == "__main__":

```

Програмний код розрахунків градувальної таблиці

```

import numpy as np
import pandas as pd
import open3d as o3d
from scipy.spatial import ConvexHull, cKDTree,
Delaunay
from sklearn.cluster import DBSCAN, KMeans
from openpyxl import Workbook
from openpyxl.styles import Alignment, Border,
Side
import json
import timeit
from joblib import Parallel, delayed
import os
# -----
# Функція визначення граничної (максимальної)
абсолютної висоти наповнення
# -----
def detect_absolute_fill_height(points,
param=0):
    """
        Надійне визначення граничної
висоти наповнення RANSAC
        Працює навіть на дуже зашумлених
і похилих об'єктах люка
        param = 0 → внутрішнє сканування
→ шукаємо найнижчу точку об'єкта
        param = 1 → зовнішнє → середнє по
верхньому кільцю
        """
        z = points[:, 2]
        # Беремо верхні 5-7% точок (верх
резервуара)
        top_z_threshold = np.percentile(z,
94) # трохи нижче, щоб не брати тільки дах
        top_points = points[z >=
top_z_threshold]
        if len(top_points) < 100:
            print("Мало точок у верхній
частині → повертаю max Z")
            return float(z.max())
        # Центр резервуара (дуже важливо!)
        center_xy = np.mean(points[:, :2],
axis=0)
        # Відстані від центру до кожної точки
у верхній частині
        distances =
np.linalg.norm(top_points[:, :2] - center_xy,
axis=1)
        # Знаходимо зовнішнє кільце: беремо
точки з радіусом у верхніх 5-10%
        radius_threshold =
np.percentile(distances, 90) # 90-95% -
зовнішнє кільце
        rim_mask = distances >=
radius_threshold
        rim_points = top_points[rim_mask]
        if len(rim_points) < 30:
            # Якщо мало - знижуємо поріг
            radius_threshold =
np.percentile(distances, 85)
            rim_mask = distances >=
radius_threshold
            rim_points = top_points[rim_mask]
        if len(rim_points) < 20:
            print("Не знайдено об'єкта →
використовую середнє верхніх точок")
            return
        float(np.mean(rim_points[:, 2]))
        # === Зовнішнє сканування ===
        if param == 1:

```

```

import sys
app = QtWidgets.QApplication(sys.argv)
MainWindow = LoginScreen()
MainWindow.show()
sys.exit(app.exec_())

return
float(np.mean(rim_points[:, 2]))-0.005
    # === Внутрішнє сканування ===
    else:
        # Найнижча точка на об'єкті - це і
є гранична висота наповнення!
        lowest_z = rim_points[:,
2].min()-0.005
        print(f"Знайдено об'єкт:
{len(rim_points)} точок, радіус ≈
{radius_threshold:.3f} м")
        print(f"Найнижча точка об'єкта
(гранична висота): Z = {lowest_z:.6f} м")
        return float(lowest_z)
def detect_dead_volume_level(points,
bottom_percentile=1.0):
    z = points[:, 2]
    low_limit = np.percentile(z,
bottom_percentile)
    bottom_points = points[z <= low_limit]
    from sklearn.cluster import DBSCAN
    clustering = DBSCAN(eps=0.05,
min_samples=20).fit(bottom_points[:, :2])
    labels = clustering.labels_
    valid = labels >= 0
    if not np.any(valid):
        return float(low_limit)
    uniq, counts =
np.unique(labels[valid], return_counts=True)
    largest_label =
uniq[np.argmax(counts)]
    cluster_pts = bottom_points[labels ==
largest_label]
    pipe_level =
float(np.max(cluster_pts[:, 2]))
    return pipe_level
def show_tank_to_height(points, height):
    z = points[:, 2]
    tank_view = points[z <= height]
    pcd = o3d.geometry.PointCloud()
    pcd.points =
o3d.utility.Vector3dVector(tank_view)
    o3d.visualization.draw_geometries([pcd])
def
show_tank_between_heights(points, z_bottom, z_t
op, special_point1=None, special_point2=None,
special_size=20.0,
special_color1=[1, 0, 0], # червоний
special_color2=[0, 1, 0], #
зелений
voxel_size=0.01 # ← КЛЮЧ: розмір
вокселя для зменшення точок
):
    """
        Показує обрізаний резервуар з двома
жирними точками + автоматично зменшує
кількість точок
        voxel_size = 0.01 м → з 30 млн → ~500-
800 тис. точок (дуже швидко і красиво)
        """
        # 1. Обрізаємо по висоті
        mask = (points[:, 2] >= z_bottom) &
(points[:, 2] <= z_top)
        cropped = points[mask]
        print(f"До даунсемплінгу:
{len(cropped):,} точок")
        # 2. Зменшуємо кількість точок (voxel
downsampling) - найшвидший і найкращий спосіб
        pcd = o3d.geometry.PointCloud()

```

```

        pcd.points =
o3d.utility.Vector3dVector(cropped)
        pcd =
pcd.voxel_down_sample(voxel_size=voxel_size)
        downsamped_points =
np.asarray(pcd.points)
        print(f"Після даунсемплінгу
(voxel={voxel_size * 1000:.1f} мм):
{len(downsamped_points):,} точок")
        # 3. Основна хмара (cipa)
        pcd.points =
o3d.utility.Vector3dVector(downsamped_points)
        #pcd.paint_uniform_color([0.65, 0.65,
0.65])
        geometries = [pcd]
        # 4. Додаємо першу жирну точку
        if special_point1 is not None:
            # Перевіряємо, чи точка потрапляє
в діапазон Z
            if z_bottom <= special_point1[2]
<= z_top:
                sphere1 =
o3d.geometry.TriangleMesh.create_sphere(radiu
s=special_size / 1000.0)
                sphere1.translate(special_point1)
                sphere1.paint_uniform_color(special_color1)
                geometries.append(sphere1)
            # 5. Додаємо другу жирну точку
            if special_point2 is not None:
                if z_bottom <= special_point2[2]
<= z_top:
                    sphere2 =
o3d.geometry.TriangleMesh.create_sphere(radiu
s=special_size / 1000.0)
                    sphere2.translate(special_point2)
                    sphere2.paint_uniform_color(special_color2)
                    geometries.append(sphere2)
            # 6. Показуємо
o3d.visualization.draw_geometries(
        geometries,
        window_name=f"Резервуар Z:
{z_bottom:.3f} ... {z_top:.3f} м | Точок:
{len(downsamped_points):,}",
        width=1400,
        height=900,
        point_show_normal=False
    )
def find_bottom_H0_point(points,
center_tol=0.15, min_points=5):
    """
    Знаходить H0 на дні резервуара поблизу
центру (X≈0, Y≈0)
    Parameters:
        points : np.array (N, 3) –
хмара точок
        center_tol : float – радіус
пошуку навколо (0,0) в метрах (рекомендовано
0.10–0.20 м)
        min_points : int – мінімальна
кількість точок у зоні, інакше вважаємо "немає
дна по центру"
    Returns:
        dict з результатом або None, якщо
не знайдено
    """
    # 1. Відбираємо точки поблизу центру
(X,Y ≈ 0)
    dist_to_center_xy = np.sqrt(points[:,
0] ** 2 + points[:, 1] ** 2)
    mask = dist_to_center_xy <= center_tol
    center_points = points[mask]
    if len(center_points) < min_points:

```

```

        print(f"УВАГА: Занадто мало точок
біля центру XY=0 (радіус {center_tol}м):
{len(center_points)}")
        return None
        # 2. Знаходимо найнижчу Z серед них –
це і є шукана точка на дні по осі!
        idx_min = np.argmin(center_points[:,
2])
        bottom_point = center_points[idx_min]
        result = [float(bottom_point[0]),
float(bottom_point[1]),
float(bottom_point[2])]
        print(f"Знайдено точку на дні по
центру:")
        print(f"X,Y,Z = ({result[0]},
{result[1]}, {result[2]})")
        return result
def add_wall_thickness(points,
wall_thickness=0.008, voxel_size=0.003):
    """
    Зсуває хмару точок із зовнішньої
поверхні ВСЕРЕДИНУ резервуара
на задану товщину стінки (наприклад,
8 мм = 0.008 м)
    Параметри:
        points : np.array (N,3) –
зовнішнє сканування
        wall_thickness : float – товщина
стінки в метрах (0.008 = 8 мм)
        voxel_size : float – для
даунсемплінгу (рекомендую 0.01–0.02 м)
    Повертає:
        internal_points – хмара точок по
внутрішній поверхні
    """
    print(f"Зсув зовнішнього скану
всередину на {wall_thickness * 1000:.1f}
мм...")
    # 1. Даунсемплінг – критично для
швидкості і стабільності нормалей
    pcd = o3d.geometry.PointCloud()
    pcd.points =
o3d.utility.Vector3dVector(points)
    pcd =
pcd.voxel_down_sample(voxel_size)
    print(f"Після даунсемплінгу:
{len(np.asarray(pcd.points)):,} точок")
    # 2. Обчислюємо нормалі
    pcd.estimate_normals(
        search_param=o3d.geometry.KDTreeSearchParamHy
brid(radius=0.1, max_nn=50)
    )
    # 3. Орієнтуємо нормалі НАЗОВНІ (для
зовнішнього скану)
    normals = np.asarray(pcd.normals)
    points_np = np.asarray(pcd.points)
    # Центр резервуара
    center = np.mean(points_np, axis=0)
    # Якщо нормаль дивиться від центру –
вона вже зовні
    # Якщо дивиться до центру – інвертуємо
dot_products = np.sum((points_np -
center) * normals, axis=1)
    normals[dot_products < 0] *= -1 #
тепер усі нормалі НАЗОВНІ
    # 4. Зсуваємо ВСЕРЕДИНУ (проти
нормалі!)
    shifted_points = points_np - normals
* wall_thickness
    # 5. Повертаємо як np.array
    internal_points = shifted_points
    print(f"Готово! Отримано внутрішню
поверхню: {len(internal_points):,} точок")
    return internal_points
def remove_extra_kmeans_dbscan(points,
n_clusters=2, eps=0.1, min_samples=500):
    """

```

```

1. Використовує KMeans для грубого
видалення зайвих елементів.
2. Використовує DBSCAN для точного
очищення.
Parameters:
    points (np.ndarray): Масив точок
(N,3).
    n_clusters (int): Кількість
кластерів у KMeans.
    eps (float): Радіус для DBSCAN.
    min_samples (int): Мінімальна
кількість точок у кластері (DBSCAN).
Returns:
    np.ndarray: Очищений масив точок.
"""
from sklearn.cluster import KMeans,
DBSCAN
# 1. Використовуємо KMeans
kmeans =
KMeans(n_clusters=n_clusters, n_init=10,
random_state=42).fit(points)
labels = kmeans.labels_
# Вибираємо 2 найбільші кластери
(запобігає втраті частини резервуара)
unique, counts = np.unique(labels,
return_counts=True)
largest_clusters =
unique[np.argsort(counts)[-2:]] # 2
найбільших кластери
filtered_points =
points[np.isin(labels, largest_clusters)]
# 2. Використовуємо DBSCAN для
доочищення
dbscan = DBSCAN(eps=eps,
min_samples=min_samples, n_jobs=-
1).fit(filtered_points)
final_labels = dbscan.labels_
largest_cluster =
np.argmax(np.bincount(final_labels[final_label
s >= 0]))
cleaned_points =
filtered_points[final_labels ==
largest_cluster]
return cleaned_points
def fill_missing_points(points, alpha=0.1):
"""
Заповнює пусті місця у хмарі точок
методом Delaunay Triangulation.
Parameters:
    points (np.ndarray): Вхідний
масив точок (N,3).
    alpha (float): Максимальна
довжина трикутника (заповнює тільки маленькі
прогалини).
Returns:
    np.ndarray: Оновлений масив
точок.
"""
# Будуємо 3D триангуляцію (Delaunay)
tri = Delaunay(points[:, :2]) #
Використовуємо тільки X, Y
# Додаємо нові точки всередині
трикутників
new_points = []
for simplex in tri.simplices:
    triangle = points[simplex]
    center = np.mean(triangle,
axis=0) # Центр трикутника
    if np.linalg.norm(triangle[0] -
center) < alpha: # Заповнюємо тільки малі
трикутники
        new_points.append(center)
# Об'єднуємо старі та нові точки
updated_points = np.vstack((points,
new_points))
return updated_points
def process_reservoir(points, eps=0.1,
min_samples=500, alpha=0.1):

```

```

        filled_points
cleaned_points#fill_missing_points(cleaned_po
ints, alpha=alpha)
print(f"✅ Обробка завершена!
Початково: {len(points)} точок → Отримано:
{len(filled_points)} точок.")
return filled_points
def create_calibration_table(points,
slice_height, z_min_override=None,
z_max_override=None):
    min_z = points[:, 2].min() if
z_min_override is None else z_min_override
    min_h = points[:, 2].min()
    max_z = points[:, 2].max() if
z_max_override is None else z_max_override
    if max_z <= min_z:
        return pd.DataFrame([], 0.0
    # Перевірка: округляємо так, щоби
    гарантовано включити останній міліметр
    height_range = np.arange(min_z, max_z
+ 1e-9, slice_height / 1000.0)
    calibration_table = []
    cumulative_volume = 0.0
    first_valid_z = None # тут
    запам'ятаємо Z першого справжнього зрізу
    if min_h < min_z:
        h_r = np.arange(min_h, min_z + 1e-
9, slice_height / 1000.0)
        for h in h_r[:-1]:
            h_min, h_max = h, h +
slice_height / 1000.0
            slice_points =
points[(points[:, 2] >= h_min) & (points[:, 2]
< h_max)]
            if len(slice_points) < 10:
                first_valid_z = None
                calibration_table = []
                continue
            try:
                hull =
ConvexHull(slice_points[:, :2],
qhull_options="QJ Pp")
                slice_area = hull.volume
# у 2D для ConvexHull.volume повертається
площа
            except:
                # Якщо конвексна оболонка
                не вийшла – пропускаємо
                first_valid_z = None
                calibration_table = []
                continue
            slice_volume = slice_area *
(slice_height / 1000.0)
            cumulative_volume +=
slice_volume
            print("Об'єм до H0 =
", cumulative_volume)
            for z in height_range[:-1]:
                z_min, z_max = z, z + slice_height
/ 1000.0
                slice_points = points[(points[:,
2] >= z_min) & (points[:, 2] < z_max)]
                if len(slice_points) < 10:
                    first_valid_z = None
                    calibration_table = []
                    continue
                try:
                    hull =
ConvexHull(slice_points[:, :2],
qhull_options="QJ Pp")
                    slice_area = hull.volume # у
2D для ConvexHull.volume повертається площа
                except:
                    # Якщо конвексна оболонка не
                    вийшла – пропускаємо
                    first_valid_z = None
                    calibration_table = []
                    continue

```

```

        slice_volume = slice_area *
        (slice_height / 1000.0)
        cumulative_volume += slice_volume
        # Якщо це перший валідний зріз -
        фіксуємо його як нове "дно"
        if first_valid_z is None:
            first_valid_z = z # саме цей
        z стає нулем наповнення
        relative_height_mm = int(round((z
        - first_valid_z) * 1000))
        calibration_table.append({
            "Рівень наповнення, мм":
            relative_height_mm,
            "Абсолютна висота, м":
            float(z - first_valid_z),
            "Slice Volume (м³)":
            slice_volume,
            "Місткість, м³":
            cumulative_volume
        })
        df = pd.DataFrame(calibration_table)
        df.drop(columns=["Slice Volume
        (м³)"], inplace=True, errors='ignore')
        return df,
        cumulative_volume, first_valid_z
    def create_10mm_table(table_1mm):
        group_ids = ((table_1mm["Рівень
        наповнення, мм"] // 10) + 1) * 10
        group_ids = group_ids - 10 *
        (table_1mm["Рівень наповнення, мм"] % 10 == 0)
        grouped =
        table_1mm.groupby(group_ids).agg({
            "Рівень наповнення, мм": "max", #
            Max height in the group
            "Місткість, м³": "max" #
            Cumulative volume at the max height
        }).reset_index(drop=True)
        grouped.rename(columns={"Рівень
        наповнення, мм": "Рівень наповнення, см"},
        inplace=True)
        grouped["Рівень наповнення, см"] =
        grouped["Рівень наповнення, см"] // 10
        grouped["Рівень наповнення, см"] =
        grouped["Рівень наповнення, см"].astype(int)
        grouped["Коефіцієнт місткості,
        м³/мм"] = grouped["Місткість,
        м³"].diff().fillna(
            grouped["Місткість, м³"] / 10
        )
        return grouped
    def format_calibration_table(data,
    total_volume):
        formatted_data = []
        data["Рівень наповнення, см"] =
        (data["Рівень наповнення, мм"] //
        10).astype(int)
        grouped = data.groupby("Рівень
        наповнення, см")
        for cm_level, group in grouped:
            volumes = group["Місткість,
            м³"].values[:10]
            if len(volumes) < 10:
                volumes = list(volumes) +
                [None] * (10 - len(volumes))
            if volumes[-1] is not None:
                percentage = round((volumes[-
                1] / total_volume) * 100, 2)
            else:
                for i in reversed(volumes):
                    if i is not None:
                        percentage = round((i
                        / total_volume) * 100, 2)
                        break
            row = [cm_level] + list(volumes)
            + [percentage]
            formatted_data.append(row)
        wb = Workbook()
        ws = wb.active
        ws.title = "Поміліметрові інтервали"
        # Заголовки

```

```

        ws.merge_cells("B1:K1")
        ws["B1"] = "Місткість, м³"
        ws["B1"].alignment
        =
        Alignment(horizontal="center",
        vertical="center", wrap_text=True)
        ws.merge_cells("B2:K2")
        ws["B2"] = "см/10"
        ws["B2"].alignment
        =
        Alignment(horizontal="center",
        vertical="center", wrap_text=True)
        ws.merge_cells("A1:A3")
        ws["A1"] = "Рівень наповнення, см"
        ws["A1"].alignment
        =
        Alignment(horizontal="center",
        vertical="center", wrap_text=True)
        ws.merge_cells("L1:L3")
        ws["L1"] = "Відсоток місткості %"
        ws["L1"].alignment
        =
        Alignment(horizontal="center",
        vertical="center", wrap_text=True)
        for col_idx, value in
        enumerate(range(0, 10), start=2):
            ws.cell(row=3, column=col_idx,
            value=value)
            ws.cell(row=3,
            column=col_idx).alignment
            =
            Alignment(horizontal="center",
            vertical="center")
            # Додавання даних у Excel
            for row_idx, row in
            enumerate(formatted_data, start=4): #
            Починаємо з 4-го рядка
                for col_idx, value in
                enumerate(row, start=1):
                    ws.cell(row=row_idx,
                    column=col_idx, value=value)
                    thin_border = Border(
                        left=Side(style="thin"),
                        right=Side(style="thin"),
                        top=Side(style="thin"),
                        bottom=Side(style="thin"),
                    )
                    for row in ws.iter_rows(min_row=1,
                    max_row=ws.max_row,
                    min_col=1,
                    max_col=ws.max_column):
                        for cell in row:
                            cell.border = thin_border
                            cell.alignment
                            =
                            Alignment(horizontal="center",
                            vertical="center", wrap_text=True) #
                            Перенесення тексту
                            return wb, formatted_data
    def save_calibration_table_to_json(data_mm,
    data_cm):
        json_data = {}
        for group_id in range(0, len(data_mm)
        // 50 + 1):
            start = group_id * 50
            end = start + 50
            group = data_mm[start:end]
            key = f"Vmm{group_id}"
            json_data[key] = []
            for row in group:
                entry = {
                    "mm": str(row[0]),
                    "ten": str(row[-1])
                }
                for idx, mm in
                enumerate(["zero", "one", "two", "three",
                "four", "five", "six", "seven", "eight",
                "nine"],
                start=1):
                    entry[mm]
                    =
                    str(round(row[idx],
                    5)) if not
                    pd.isna(row[idx]) else "0.0"
                    json_data[key].append(entry)
            # Форматування посантиметрових
            інтервалів

```

```

for group_id in range(0, len(data_cm)
// 50 + 1):
    start = group_id * 50
    end = start + 50
    group = data_cm[start:end]
    key = f"Vsm{group_id}"
    json_data[key] = []
    for _, row in group.iterrows():
        entry = {
            "sm": str(row["Рівень
наповнення, см"]),
            "zero":
str(round(row["Місткість, м³"], 5)),
            "one":
str(round(row["Коефіцієнт місткості, м³/мм"],
5))
        }
        json_data[key].append(entry)
    with open("doc/w.json", "w",
encoding="utf-8") as f:
        json.dump(json_data, f,
ensure_ascii=False, indent=4)
def
calculate_tank_calibration(point_cloud_file,
out_file, param, thickness, param_pid_tusk):
    if param == "Внутрішній":
        param = 0
    else:
        param = 1
        starttime1 = timeit.default_timer()
        starttime = timeit.default_timer()
        points = np.loadtxt(point_cloud_file,
usecols=(0, 1, 2))
        print(f"Кількість точок у хмарі:
{points.shape[0]}")
        print("Старт:", timeit.default_timer() -
starttime, "\n")
        starttime = timeit.default_timer()
        if param == 1:
            points =
add_wall_thickness(points=points,
wall_thickness=thickness)
            # Обробляємо резервуар
            #points = process_reservoir(points)
            #s_point_cloud =
o3d.geometry.PointCloud()
            #s_point_cloud.points =
o3d.utility.Vector3dVector(points)

#o3d.io.write_point_cloud("s_point_cloud.ply"
, s_point_cloud)
            abs_fill_z =
detect_absolute_fill_height(points, param)
            print("Гранична абсолютна висота
наповнення (м):", abs_fill_z)
            if (param_pid_tusk[0] != None) or
(param_pid_tusk[1] != None):
                dead_volume = 0
            else:
                dead_level =
detect_dead_volume_level(points)
                dead_points = points[points[:, 2] <=
dead_level]
                dead_volume_table, dead_volume, _ =
create_calibration_table(dead_points,
slice_height=1.0)
                print("Рівень мертвої порожнини (м):",
dead_level)
                print("Мертвий об'єм (м³):", dead_volume)
                points = points[points[:, 2] <=
abs_fill_z]
                min_z_actual =
find_bottom_H0_point(points)
                table_1mm, total_volume_to_fill,
first_valid_z =
create_calibration_table(points,
slice_height=1.0,

```

```

z_min_override=min_z_actual[2],
z_max_override=abs_fill_z)
    print()
    print(f"Загальний об'єм до граничної
висоти (м³): {total_volume_to_fill:.6f}")
    #table_1mm, total_volume =
create_calibration_table(points,
slice_height=1.0)
    print("Створення таблиці:",
timeit.default_timer() - starttime, "\n")
    starttime = timeit.default_timer()
    # Таблиця з кроком 10 мм
    table_10mm = create_10mm_table(table_1mm)
    print("Створення таблиці з кроком 10 мм:",
timeit.default_timer() - starttime, "\n")
    starttime = timeit.default_timer()
    # Генеруємо форматovanу таблицю
    formatted_table, data_mm =
format_calibration_table(table_1mm,
total_volume_to_fill)
    print("Генеруємо форматovanу таблицю:",
timeit.default_timer() - starttime, "\n")
    starttime = timeit.default_timer()
    data_cm = table_10mm
    save_calibration_table_to_json(data_mm,
data_cm)
    # Додавання DataFrame на окремий аркуш
    if os.path.exists(out_file):
        os.remove(out_file)
        print(f"Файл {out_file} було видалено
і буде створено заново.")
    with pd.ExcelWriter(out_file,
engine="openpyxl", mode="w") as writer:
        writer.book = formatted_table #
Передаємо існуючий Workbook у writer
        table_10mm.to_excel(writer,
sheet_name="Посантиметрові інтервали",
index=False)
        print(f"Calibration table saved to
{out_file}.")
        print("Кінець:", timeit.default_timer() -
starttime1, "\n")
    show_tank_between_heights(points=points, z_bot
tom=min_z_actual[2], z_top=abs_fill_z, special_
point1=min_z_actual, special_point2=[0, 0, abs_f
ill_z])
    abs_fill_z += abs(first_valid_z)
    dead_level += abs(first_valid_z)
    return round(abs_fill_z*1000, 3),
round(total_volume_to_fill, 3),
round(dead_level*1000, 3),
round(dead_volume, 5)
def
calculate_tank_calibration_vert(point_cloud_f
ile, out_file, param, thickness):
    if param == "Внутрішній":
        param = 0
    else:
        param = 1
        starttime1 = timeit.default_timer()
        starttime = timeit.default_timer()
        points = np.loadtxt(point_cloud_file,
usecols=(0, 1, 2))
        print(f"Кількість точок у хмарі:
{points.shape[0]}")
        print("Старт:",
timeit.default_timer() - starttime, "\n")
        starttime = timeit.default_timer()
        if param == 1:
            points =
add_wall_thickness(points=points,
wall_thickness=thickness)
            return True

```

Програмний код створення ескізу

```
from PIL import Image, ImageDraw, ImageFont
```

```
def left_line(draw):
```

```

draw.line(
    xy=(
        (435, 208),
        (285, 208)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (285, 204),
        (285, 960)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (285, 958),
        (435, 958)
    ), fill='black', width=4)
return draw
def left_line_cone(draw):
draw.line(
    xy=(
        (435, 208),
        (390, 208)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (390, 206),
        (199, 580)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (199, 579),
        (390, 959)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (435, 959),
        (390, 959)
    ), fill='black', width=4)
return draw
def right_line_cone(draw):
draw.line(
    xy=(
        (1485, 208),
        (1625, 208)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1625, 205),
        (1625, 960)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1625, 959),
        (1500, 959)
    ), fill='black', width=4)
return draw
def text_to_picture(bH,dH,dV,mH,mV,draw):
font = ImageFont.truetype("arial.ttf",
25)
draw.text(xy=((985, 160)
    ), text = str(bH)+" MM",
    fill='black', width=8, font=font)
draw.text(xy=((980, 335)
    ), text=str(dH) + " MM",
    fill='black', width=8, font=font)
dV = str(dV) + " m"
draw.text(xy=((1260, 315)
    ), text=str(dV),
    fill='black', width=8, font=font)
dV = len(str(dV))*" " + "3"
draw.text(xy=((1253, 307)
    ), text=str(dV),
    fill='black', width=1,
font=font, align = "top")
draw.text(xy=((980, 860)
    ), text=str(mH) + " MM",
    fill='black', width=8,
font=font)
mV = str(mV) + " m"
draw.text(xy=((1260, 890)
    ), text=str(mV),
    fill='black', width=8,
font=font)
mV = len(str(mV)) * " " + "3"
draw.text(xy=((1253, 882)
    ), text=str(mV),
    fill='black', width=8,
font=font)
return draw
def right_line_cone(draw):
draw.line(
    xy=(
        (1485, 208),
        (1530, 208)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1529, 206),
        (1720, 580)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1720, 580),
        (1530, 959)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1532, 959),
        (1500, 959)
    ), fill='black', width=4)
return draw
def left_arc(draw):
draw.arc(xy=[265, 204, 600, 968],
start=101, end=270, fill='black', width=8)
return draw
def right_arc(draw):
draw.arc(xy=[1316, 205, 1655, 967],
start=270, end=80, fill='black', width=8)
return draw
def left_arc_50(draw):
draw.arc(xy=[265, 204, 600, 968],
start=206, end=270, fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (285, 415),
        (285, 754)
    ), fill='black', width=8)
draw.arc(xy=[265, 204, 600, 968],
start=101, end=154, fill='black', width=8)
return draw
def right_arc_50(draw):
draw.arc(xy=[1316, 205, 1655, 967],
start=270, end=334, fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1634, 420),
        (1634, 755)
    ), fill='black', width=8)
draw.arc(xy=[1316, 205, 1655, 967],
start=26, end=80, fill='black', width=8)
return draw
def left_line_cone_50(draw):
draw.line(
    xy=(
        (435, 208),
        (390, 208)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (390, 206),
        (285, 415)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (285, 415),
        (285, 754)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (285, 754),
        (285, 754)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1634, 420),
        (1634, 755)
    ), fill='black', width=8)
draw.arc(xy=[1316, 205, 1655, 967],
start=26, end=80, fill='black', width=8)
return draw

```

```

        (285, 754),
        (390, 959)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (435, 959),
        (390, 959)
    ), fill='black', width=4)
return draw
def right_line_cone_50(draw):
draw.line(
    xy=(
        (1485, 208),
        (1530, 208)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1529, 206),

```

```

        (1634, 420)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1634, 420),
        (1634, 755)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1634, 755),
        (1530, 959)
    ), fill='black', width=8)
draw.line(
    xy=(
        (1532, 959),
        (1500, 959)
    ), fill='black', width=4)
return draw

```

Програмний код створення знімку резервуара

```

from PIL import Image
import open3d as o3d
import numpy as np
from PIL.ImageFont import truetype
def scale_image(input_image_path,
output_image_path,width=None,height=None):
    original_image =
Image.open(input_image_path)
    w, h = original_image.size
    print('The original image size is {wide}
wide x {height} '
        'high'.format(wide=w, height=h))
    if width and height:
        max_size = (width, height)
    elif width:
        max_size = (width, h)
    elif height:
        max_size = (w, height)
    else:
        # No width or height specified
        raise RuntimeError('Width or height
required!')
    original_image.thumbnail(max_size,
Image.Resampling.LANCZOS)
    original_image.save(output_image_path)
    scaled_image =
Image.open(output_image_path)
    width, height = scaled_image.size
    print('The scaled image size is {wide}
wide x {height} '
        'high'.format(wide=width,
height=height))
def crop_center(pil_img, crop_width: int,
crop_height: int) -> Image:
    img_width, img_height = pil_img.size
    return pil_img.crop(((img_width -
crop_width) // 2,
                        (img_height -
crop_height) // 2,
                        (img_width +
crop_width) // 2,
                        (img_height +
crop_height) // 2))
def crop_max_square(pil_img):
    return crop_center(pil_img,
min(pil_img.size), min(pil_img.size))
def make_image(file):
    points = np.loadtxt(file, usecols=(0, 1,
2))
    # Create point cloud object
    pcd = o3d.geometry.PointCloud()
    pcd.points =
o3d.utility.Vector3dVector(points)
    vis = o3d.visualization.Visualizer()
    vis.create_window()

vis.get_render_option().point_color_option
=o3d.visualization.PointColorOption.Color
vis.get_render_option().point_size = 3.0
vis.add_geometry(pcd)

```

```

vis.capture_screen_image("image/file.jpg",
do_render=True)
vis.destroy_window()

```