

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.48:621.64

DOI 10.52928/2070-1683-2025-42-3-40-48

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ НА СТАДИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ

канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ,
канд. техн. наук, доц. К.И. МАРКОВИЧ,
канд. техн. наук, доц. А.М. ДЕГТЯРЕВ,
П.С. ДОЛГИЙ

(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

В статье выполнен обзор существующих традиционных методов определения деформаций стенок резервуаров и рассмотрена новая технология математической обработки результатов геодезической съемки вертикальных стальных резервуаров, выполняемой электронным тахеометром. Существующие методы в основном реализованы на вычислении отклонений поверхности оболочки резервуара от вертикали по образующим и построении графиков для наглядности полученных результатов. Далее величины деформации стенок резервуара сравниваются с допусками, приведёнными в нормативных документах. Авторами предлагается алгоритм обработки измерений, который позволяет аналитически определить корреляцию деформаций стенок и днища резервуара, а также получить более наглядную графическую информацию для анализа величин и направлений деформаций всего резервуара. Предлагаемый алгоритм позволяет давать надежную оценку определения остаточного ресурса резервуара для принятия решения о продлении его срока эксплуатации или необходимом текущем ремонте.

Ключевые слова: вертикальный стальной резервуар, деформации, точность, аппроксимация, метод наименьших квадратов, вектор направляющих косинусов.

Введение. Вертикальные стальные цилиндрические резервуары (РВС) – это крупногабаритные емкости, предназначенные для хранения жидких веществ (нефти, нефтепродуктов, химикатов, воды и др.). Они используются на нефтебазах, химических предприятиях и прочих промышленных предприятиях.

Ввиду повышенной опасности, которую представляют вертикальные стальные цилиндрические резервуары, необходимо уделять особое внимание их техническому состоянию, соблюдать строгие меры безопасности и осуществлять регулярный мониторинг для оценки технического состояния и определения остаточного ресурса.

Возведение резервуаров для хранения нефтепродуктов на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями, такими как переувлажнённые, заторфованные или пучинистые грунты, представляет собой сложную техническую задачу. Это связано с тем, что такие грунты обладают низкой несущей способностью, высокой степенью деформации и подвержены сезонным изменениям, что может негативно сказываться на устойчивости и эксплуатационной надёжности резервуаров.

Просадка оснований резервуаров, предназначенных для хранения нефтепродуктов, является одной из ключевых проблем при эксплуатации на сложных грунтах. Она приводит к неравномерным деформациям днища, стенок и других элементов металлических конструкций, которые усиливаются под действием веса нефтепродуктов. Неравномерные осадки и деформации могут вызвать нарушение прочности сварных швов, образование трещин, потерю герметичности и, как следствие, приводить к утечке опасных веществ.

Любое отклонение от проектного положения, которое определено в проектно-конструкторской документации, приводит к снижению надёжности конструкции и способствует увеличению риска возникновения аварийных ситуаций.

Техническое диагностирование сооружений и технологического оборудования включает в себя поиск дефектов, выполнение измерений для определения геометрических параметров и физико-химический контроль материалов. Вместе с признаками, характеризующими физический износ материалов металлоконструкций, особое внимание уделяют признакам, характеризующим деформации конструкций, их пространственное и взаимное положение (геометрические параметры).

Геодезический контроль геометрических параметров сооружений – это совокупность процедур по измерению и анализу пространственного положения, конфигурации и размеров конструкций и сооружений с целью выявления деформаций, смещений и отклонений от проектных параметров. Он является одним из важнейших инструментов обеспечения безопасности и долговечности объектов строительства и позволяет своевременно выявлять деформации для принятия профилактических мер.

Основная часть. В действующем нормативном документе¹ определены методы выполнения измерений при контроле вертикальных и горизонтальных цилиндрических резервуаров с использованием традиционного геодезического оборудования – теодолитов и нивелиров. Также определена форма представления результатов обработки измерений и система допусков. Кроме того, определен формат представления результатов обработки полученных измерений и, соответственно, значения допустимых отклонений.

¹ СТБ 2634-2023. Резервуары для нефти и нефтепродуктов. Общие требования. – Минск, 2023. – 142 с.

Основные требования, касающиеся геометрии резервуара, связаны с обеспечением горизонтальности дна и вертикальности стенок резервуара. Результаты определения отклонений стенок резервуара от вертикали оформляются в виде таблицы и графиков, которые обычно размещают попарно для диаметрально-противоположных образующих. Такая компоновка графического материала позволяет анализировать связь величин отклонений образующих и общий наклон резервуара. Пример графического отображения отклонений стенок резервуара от вертикали приведен на рисунке 1.

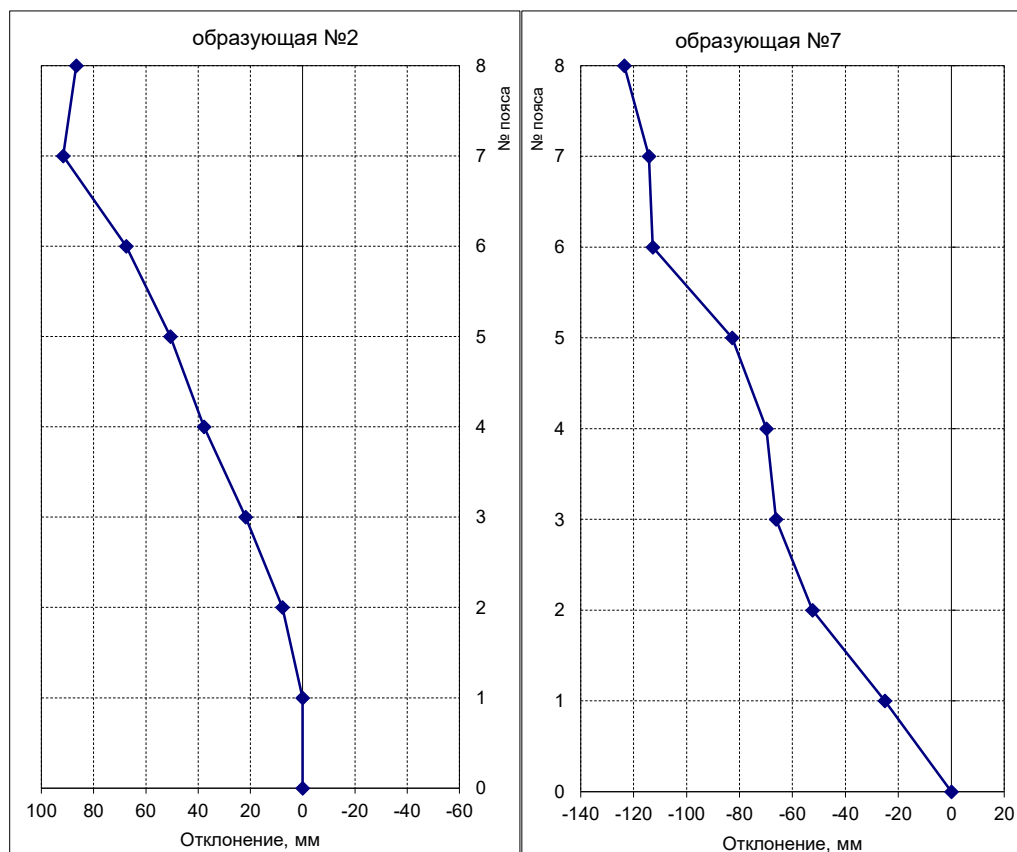


Рисунок 1. – Графики отклонений образующих резервуара от вертикали

Применение современных геодезических приборов, таких как электронные тахеометры и лазерные сканеры, радикально меняет возможности получения данных о геометрии объектов, предоставляя значительно больший объем информации в цифровом виде. Электронные тахеометры обеспечивают точность определения координат точек до 2–3 мм и позволяют собрать достаточное количество точек на стенке резервуара для эффективного применения метода наименьших квадратов.

Для такого варианта выполнения измерений наиболее оптимальной будет методика определения геометрических параметров стенок резервуаров по методу наименьших квадратов, используя координаты точек на стенке резервуара, вычисленные по результатам измерений. Предлагаемый алгоритм – построение параметрической модели наклонного цилиндра и оценка её параметров из набора трёхмерных точек методом наименьших квадратов. Это позволит получить достоверные и надежные оценки геометрического состояния резервуара, необходимые для мониторинга деформаций и принятия инженерных решений.

В идеале поверхность стенки резервуара должна представлять собой строго вертикальный цилиндр. Однако в реальных условиях добиться этого практически невозможно. Если при помощи тахеометра получить координаты точек на реальной поверхности стенки резервуара, то можно оценить средний радиус цилиндра, наклон и направление его оси, выполнив их аппроксимацию цилиндрической поверхностью.

Оценка характеристики неровностей и деформаций стенки резервуара может быть выполнена с использованием радиальных отклонений (кратчайших расстояний между реальной и аппроксимирующей цилиндрической поверхностью) или, по-другому, расстояний от точек, координаты которых были получены тахеометром, по нормали к аппроксимирующей поверхности.

Цилиндр может быть определен следующими параметрами:

- 1) точкой (x_0, y_0, z_0) на своей оси;
- 2) вектором направляющих косинусов (a, b, c);
- 3) радиусом r .

Уравнение цилиндра можно записать² [1]:

$$\left[c(y_i - y_0) - b(z_i - z_0) \right]^2 + \left[a(z_i - z_0) - c(x_i - x_0) \right]^2 + \left[b(x_i - x_0) - a(y_i - y_0) \right]^2 = R^2. \quad (1)$$

Обозначив:

$$A = (b^2 + c^2);$$

$$B = (a^2 + c^2);$$

$$C = (a^2 + b^2);$$

$$D = -2ab;$$

$$E = -2ac;$$

$$F = -2bc;$$

$$G = -2(b^2 + c^2)x_0 + 2aby_0 + 2acz_0;$$

$$H = -2(a^2 + c^2)x_0 + 2abx_0 + 2bcz_0;$$

$$I = -2(a^2 + b^2)z_0 + 2acx_0 + 2bcy_0;$$

$$J = (b^2 + c^2)x_0^2 + (a^2 + c^2)y_0^2 + (a^2 + b^2)z_0^2 - 2bcy_0z_0 - 2acz_0x_0 - 2abx_0y_0 - R^2,$$

получим аналог уравнения (1) вида

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Gx + Hy + Iz + J = 0. \quad (2)$$

Поделим уравнение (2) на A и перенесем x^2 вправо, чтобы уравнение стало линейным относительно определяемых коэффициентов и не было однородным:

$$\frac{B}{A}y^2 + \frac{C}{A}z^2 + \frac{D}{A}xy + \frac{E}{A}xz + \frac{F}{A}yz + \frac{G}{A}x + \frac{H}{A}y + \frac{I}{A}z + \frac{J}{A} = -x^2. \quad (3)$$

Эту линейную систему уравнений можно записать в матричном виде

$$\begin{pmatrix} y_1^2 & z_1^2 & x_1y_1 & x_1z_1 & y_1z_1 & x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ y_2^2 & z_2^2 & x_2y_2 & x_2z_2 & y_2z_2 & x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_n^2 & z_n^2 & x_ny_n & x_nz_n & y_nz_n & x_n & y_n & z_n & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B/A \\ C/A \\ D/A \\ E/A \\ F/A \\ G/A \\ H/A \\ I/A \\ J/A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -x_1^2 \\ -x_2^2 \\ \dots \\ -x_n^2 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

или

$$AP = B.$$

Умножив обе части уравнения на A^T (левая трансформация Гаусса для практической реализации МНК) неизвестный вектор P можно получить по формуле:

$$P = (A^T \cdot A)^{-1} A^T \cdot B.$$

² Least Square Fitting of Data by Linear or Quadratic Structures [Electronic resource] : David Eberly, Geometric Tools, Redmond WA 98052. – Mode of access: <https://www.geometrictools.com/Documentation/LeastSquaresFitting.pdf>. – Date of access: 20.08.2025.

Пусть $B' = B/A$, $C' = C/A$, $D' = D/A$, $E' = E/A$, $F' = F/A$, $G' = G/A$, $H' = H/A$, $I' = I/A$ и $J' = J/A$.
Вычислив вспомогательное значение

$$k = \frac{2}{(1+B'+C')}, \quad (5)$$

можем получить

$$A = k, \quad B = kB', \quad C = kC', \quad D = kD', \quad E = kE', \quad F = kF', \quad G = kG', \quad H = kH', \quad I = kI', \quad J = kJ'.$$

Если значения A и B близкие к 1, то приближенные значения направляющих косинусов вычисляются по формулам

$$c' = (1-C')^{1/2}, \quad a' = \frac{E}{2C'}, \quad b' = -\frac{F}{2c'}.$$

Если значение A близкое к 1, а B – нет, используем формулы

$$b' = (1-B)^{1/2}, \quad a' = -\frac{D}{2b'}, \quad c' = -\frac{F}{2b'}.$$

Во всех других случаях приближенные значения направляющих косинусов вычисляются по формулам

$$a' = (1-A)^{1/2}, \quad b' = -\frac{D}{2a'}, \quad c' = -\frac{F}{2a'}.$$

Полученные (a', b', c') нормализуются для получения вектора направляющих косинусов (a, b, c) .

Зная (a, b, c) и коэффициенты G, H, I , мы можем получить оценки для x_0, y_0, z_0 из решения линейной системы уравнений

$$\begin{pmatrix} -2(b^2+c^2) & 2ab & 2ac \\ 2ab & -2(a^2+c^2) & 2bc \\ 2ac & 2bc & -2(b^2+a^2) \\ a & b & c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G \\ H \\ I \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Предварительное значение радиуса получим по формуле

$$R^2 = (b^2+c^2)x_0^2 + (a^2+c^2)y_0^2 + (a^2+b^2)z_0^2 - 2bcy_0z_0 - 2acz_0x_0 - 2abx_0y_0 - J. \quad (7)$$

Таким образом были получены предварительные значения параметров аппроксимирующего цилиндра.

Для получения окончательных параметров аппроксимирующего цилиндра алгоритм поиска основан на методе Гаусса-Ньютона. Учитывая оценки (x_0, y_0, z_0) , (a, b, c) и R , одна итерация алгоритма выполняет следующие шаги:

1. Смещает координаты исходных точек так, чтобы точка на оси лежала в начале координат:

$$(x_i, y_i, z_i) = (x_i, y_i, z_i) - (x_0, y_0, z_0).$$

2. Преобразовывает данные, поворачивая ось цилиндра сначала вокруг оси X , а затем поворачивая вокруг оси Y так, чтобы она совпадала с осью Z .

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Эта операция выполняется с помощью матрицы вращения U , которая вычисляется по значениям (a, b, c) :

$$U = \begin{pmatrix} c_2 & 0 & s_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_2 & 0 & c_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & s_1 \\ 0 & -s_1 & c_2 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Элементы матрицы U вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} c_1 &= c / \sqrt{b^2 + c^2}; \\ s_1 &= -b / \sqrt{b^2 + c^2}; \\ c_2 &= (cc_1 - bs_1) / \sqrt{a^2 + (cc_1 - bs_1)^2}; \\ s_2 &= -a / \sqrt{a^2 + (cc_1 - bs_1)^2}. \end{aligned}$$

3. Формирует матрицу Якоби и вектор d как разность $d = R_i - R$. Расстояние от точки (x_i, y_i, z_i) до оси цилиндра вычисляют по формуле

$$R_i = \frac{\sqrt{u_i^2 + v_i^2 + w_i^2}}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}, \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} u_i &= c(y_i - y_0) - b(z_i - z_0); \\ v_i &= a(z_i - z_0) - c(x_i - x_0); \\ w_i &= b(x_i - x_0) - a(y_i - y_0). \end{aligned} \quad (11)$$

Матрица Якоби имеет вид:

$$J = \begin{pmatrix} -x_1/R_1 & -y_1/R_1 & -x_1z_1/R_1 & -y_1z_1/R_1 & -1 \\ -x_2/R_2 & -y_2/R_2 & -x_2z_2/R_2 & -y_2z_2/R_2 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -x_n/R_n & -y_n/R_n & -x_nz_n/R_n & -y_nz_n/R_n & -1 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

4. Решает линейную систему методом наименьших квадратов

$$J \begin{pmatrix} P_{x0} \\ P_{y0} \\ P_a \\ P_b \\ P_R \end{pmatrix} = -d. \quad (13)$$

5. Обновляет оценки параметров по формулам

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + U^T \begin{pmatrix} P_{x0} \\ P_{y0} \\ -P_{x0}P_a - P_{y0}P_b \end{pmatrix}; \quad (14)$$

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = U^T \begin{pmatrix} P_a \\ P_b \\ 1 \end{pmatrix}; \quad (15)$$

$$R = R + P_R. \quad (16)$$

Этапы, описанные выше, повторяются до тех пор, пока алгоритм не сходится. На этапе 1 используется исходный набор данных, а не преобразованный набор из предыдущей итерации.

Рассмотрим практическое применение изложенного выше алгоритма. Для резервуара РВС-3000 были определены координаты 90 точек на наружной стенке резервуара. Схема расположения точек приведена на рисунке 2.

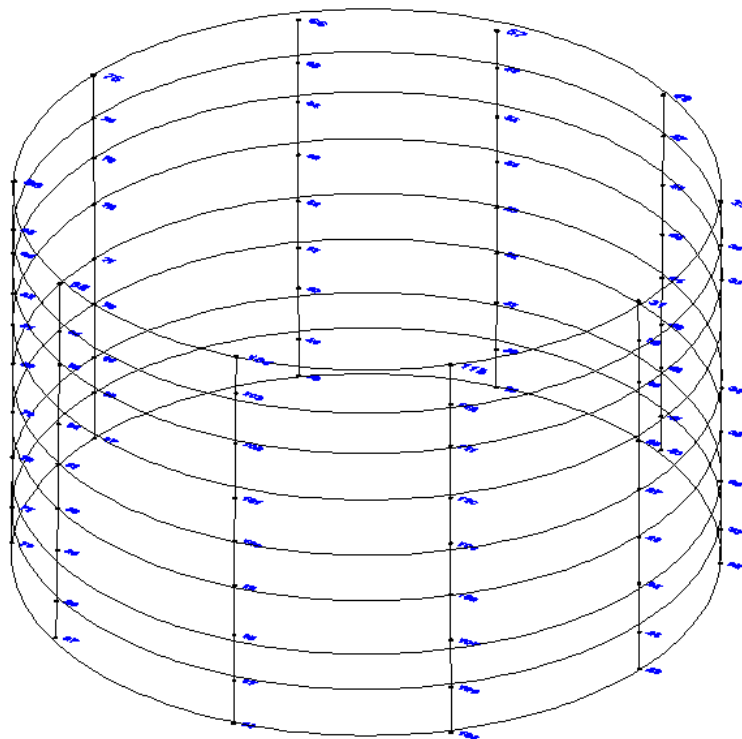


Рисунок 2. – Схема расположения координируемых точек на стенке резервуара

Вычисления по приведенному выше алгоритму были проведены с использованием программы Excel. Для сравнения результатов вычислений по полученным формулам проведены расчёты в Java Applied Geodesy 3D (JAG3D) – популярном пакете программного обеспечения с открытым исходным кодом, в котором реализован метод наименьших квадратов для различных геодезических задач. Этот пакет программного обеспечения имеет отдельный модуль для аппроксимации набора точек с координатами элементарными геометрическими фигурами и поверхностями. Приложение распространяется на условиях лицензии GNU General Public License (версия 3).

В результате вычислений были определены параметры аппроксимирующего наклонного цилиндра для рассматриваемого резервуара. Полученные параметры по приведённым выше формулам и в программе JAG3D для сравнения приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты вычислений параметров аппроксимирующего цилиндра

Параметр	Значение, полученное по формулам (4)–(16)	Значение, полученное в JAG3D	СКП
X_0	0,22322 m	0,2232 m	0,0035
Y_0	0,05735 m	0,0578 m	0,0035
Z_0	-0,04261 m	-0,0003 m	0,0108
a	-0,0013604	-0,0013604	0,0005
b	0,0101812	0,0101812	0,0005
c	0,9999472	0,9999472	0,0001
R	9,48324 m	9,4832 m	0,0013

Результаты практически идентичны, кроме некоторого расхождения в высотной составляющей Z_0 .

Используя параметры аппроксимирующего наклонного цилиндра, можно вычислить общий наклон оси и направление наклона по формулам

$$N = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{c}, \quad (17)$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) \quad (18)$$

или

$$\gamma = \arctan\left(\frac{b}{a}\right). \quad (19)$$

В результате было получено: $N = 0,0103$ и $\gamma = 97,6^\circ$.

При определении геометрических параметров резервуара выполняют также нивелирование крайки днища. По полученным данным возможно рассчитать параметры аппроксимирующей плоскости (коэффициенты уравнения плоскости A, B, C, D), например, по алгоритму, приведенному в [2], а также определить ее наклон и направление. Для наклонной плоскости общий наклон оси и направление наклона вычислим по формулам, аналогичным (17)–(19):

$$N = \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{C};$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}}\right).$$

В результате было получено: $N = 0,0086$ и $\gamma = 106,2^\circ$.

Такая корреляция параметров наклона аппроксимирующей оси стенок резервуара и его днища говорит о том, что выявленные отклонения от идеальной геометрической формы являются следствием просадок основания резервуара и для их устранения необходимо выполнить подбивку просевшей части основания гидрофобным грунтом до расчетной отметки.

Для анализа деформаций стенки резервуара часто выполняют развертку цилиндрической поверхности на плоскость [3; 4]. Для получения эквивалентной поверхности необходимо выполнить перевычисление геодезических координат точек в координаты на поверхности цилиндра. Это можно выполнить с использованием следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} y_i^c &= z_i \\ x_i^c &= \alpha R \\ z_i^c &= \left[c(y_i - y_0) - b(z_i - z_0) \right]^2 + \left[a(z_i - z_0) - c(x_i - x_0) \right]^2 + \left[b(x_i - x_0) - a(y_i - y_0) \right]^2 - R^2 \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

где x_i^c, y_i^c, z_i^c – координаты точек в системе координат цилиндра;

x_i, y_i, z_i – координаты точек в пространственной системе координат, полученные по формуле (8);

$x_0, y_0, z_0, a, b, c, R$ – параметры аппроксимирующего цилиндра.

Геометрический смысл z_i^c – это отклонение точки i от цилиндра, имеет знак «+», если точка находится снаружи цилиндра, и знак «–», если внутри. Процесс развертки цилиндра на плоскость демонстрирует рисунок 3.

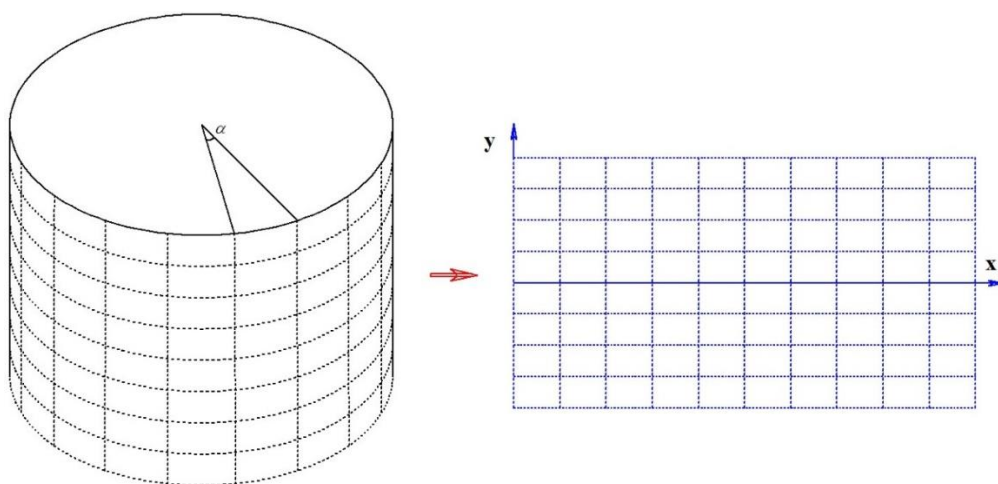


Рисунок 3. – Геометрическая схема развертки цилиндрической поверхности на плоскость

По координатам, полученным по формулам (17), можно отобразить точки в развертке на плоскость, вывести значения z_i^c и визуализировать эти значения в виде изолиний с цветной окраской (рисунок 4). Анализируя такое изображение, можно с достаточной детальностью и достоверностью определить выпуклости или вмятины на стенке резервуара, а также общие параметры отклонений геометрической формы резервуара.

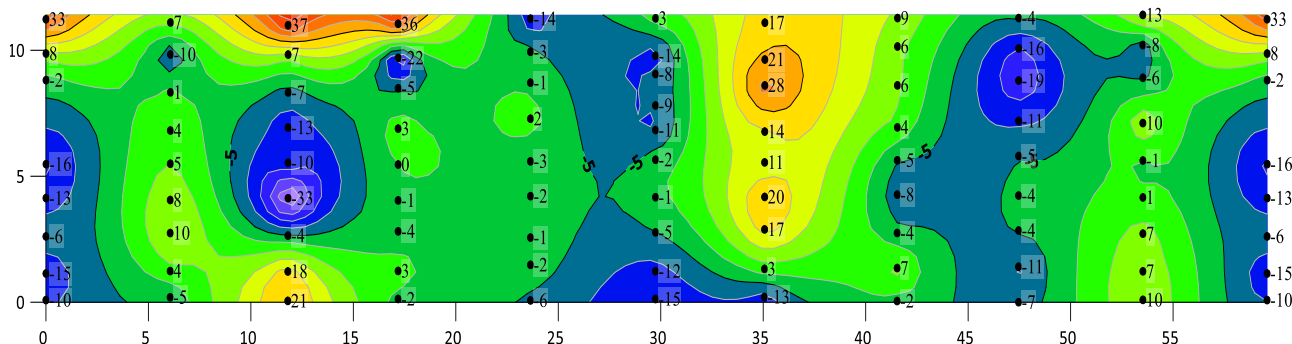


Рисунок 4. – Визуализация отклонений стенки резервуара от идеальной цилиндрической поверхности

Закключение. Таким образом, представленный авторами выше алгоритм обработки измерений геометрических параметров стальных вертикальных цилиндрических резервуаров на стадии обследования позволяет:

- получить более наглядную и достоверную графическую информацию для анализа величин и направлений деформаций всего резервуара;
- аналитически определить корреляцию деформаций стенок и днища резервуара;
- комплексно оценивать отклонение от проектного положения стенки и днища резервуара в процессе эксплуатации с учетом их пространственного положения и реальной геометрической формы;
- оценить отклонения реальной конструкции от идеальной (математической модели) и выполнять инженерные расчёты по математически строгим алгоритмам.
- давать надежную оценку определения остаточного ресурса резервуара для принятия решения о продлении его срока эксплуатации или необходимом текущем ремонте.

Представленный алгоритм обработки измерений геометрических параметров резервуаров успешно прошел апробацию на стальных вертикальных цилиндрических резервуарах типа РВС-3000, 5000, 10000.

ЛИТЕРАТУРА

1. Forbes A.B. Least Squares Best-Fit geometric elements. – United Kingdom, 1989.
2. Маркович К.И., Ялтыхов В.В., Дегтярев А.М. Совершенствование алгоритма получения параметров оптимальной плоскости для фасадной съемки // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2023. – № 1. – С. 82–89. DOI: 10.52928/2070-1683-2023-33-1-82-89.
3. Анализ деформаций и напряжений оболочки вертикальных стальных резервуаров по данным лазерного сканирования / А.А. Шоломицкий, Н.Т. Кемербаев, С.Г. Могильный и др. // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 86–101. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-2-86-101.
4. Носков И.В., Черепанов Д.Н. Применение технологии 3D сканирования для определения деформации оснований и фундаментов резервуаров при разработке месторождений нефти // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 5. URL: <https://esj.today/PDF/05NZVN523.pdf>.

REFERENCES

1. Forbes, A.B. (1989). *Least Squares Best-Fit geometric elements*. United Kingdom.
2. Markovich, K.I., Jaltiyov, V.V., & Degtyarev, A.M. (2023). Sovershenstvovanie algoritma poluchenija parametrov optimal'noj ploskosti dlja fasadnoj s'emki. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Serija F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*, (1), 82–89. DOI: 10.52928/2070-1683-2023-33-1-82-89. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Sholomickij, A.A., Kemerbaev, N.T., Mogil'nyj, S.G., & Carenko, S.N. (2022). Analiz deformacij i naprjazhenij obolochki vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov po dannym lazernogo skanirovanija. *Vestnik SGUGiT*, 27(2), 86–101. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-2-86-101. (In Russ., abstr. in Engl.).
4. Noskov, I.V., & Cherepanov, D.N. (2023). Primenenie tehnologii 3D skanirovanija dlja opredelenija deformacii osnovanij i fundamentov rezervuarov pri razrabotke mestorozhdenij nefi. *Vestnik evrazijskoj nauki*, 15(5). URL: <https://esj.today/PDF/05NZVN523.pdf>. (In Russ., abstr. in Engl.).

Поступила 01.09.2025

**GEOMETRIC PARAMETERS OF STEEL VERTICAL CYLINDRICAL TANKS
DETERMINATION AT THE SURVEY STAGE**

V. JALTYHOV, K. MARKOVICH, A. DEGTJAREV, P. DOLHI
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

The article provides an overview of existing traditional methods for tank walls deformation determining and discusses a new technology for results of geodetic surveying of vertical steel tanks using an electronic total station mathematical processing. The existing methods are mainly based on calculating the tank shell surface deviations from the vertical line along the generatrices and plotting graphs to visualize the results. The values of the tank wall deformation are then compared with the tolerances specified in regulatory documents. The authors propose an algorithm for processing measurements, which allows for an analytical determination of the tank walls and bottom deformations correlation, as well as obtaining more visual graphical information for analyzing the values and directions of the entire tank deformations. The proposed algorithm allows for a reliable residual resource of the tank assessment, which is necessary for making decisions on extending its service life or performing necessary maintenance.

Keywords: vertical steel tank, deformations, accuracy, approximation, least squares method, direction cosines vector.