

# *Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта*

---

## *Designing, construction and operation of pipeline transport system*

2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ (технические науки)

УДК 624.073.2

DOI: 10.31660/0445-0108-2025-2-124-137

EDN: KBREAT

### **Определение несущей способности резервуара при наличии недопустимых отклонений стенки**

**П. В. Чепур\*, А. А. Тарасенко, З. С. Кутрунова, М. А. Тарасенко,  
А. А. Колядко**

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия*

*\*chepur\_p\_v@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема определения несущей способности стенки вертикального стального цилиндрического резервуара при наличии дефектов формы стенки. Цель работы — представление широкому кругу специалистов методики, которая позволяет выполнить с использованием аналитических и численных методов расчет на прочность и устойчивость стенки резервуара. Особенность расчета состоит в комбинировании стандартного аналитического метода и численного подхода.

В статье применены классические методы строительной механики, существующие аналитические решения, а также численные методы, в частности, метод конечных элементов с реализацией в программном комплексе ANSYS.

Полученные авторами результаты свидетельствуют о том, что использование предложенной методики комбинированного решения, включающего в себя аналитические и численные методы, позволяет успешно решать задачу подтверждения несущей способности как для вновь построенного, так и уже введенного в эксплуатацию резервуара.

Описанный в настоящей статье подход может быть использован для дополнения существующей нормативной документации в части оценки напряженно-деформированного и технического состояний при наличии дефектов геометрической формы.

**Ключевые слова:** резервуар, РВС, напряженно-деформированное состояние, напряжения, деформации, дефекты

**Для цитирования:** Определение несущей способности резервуара при наличии недопустимых отклонений стенки / П. В. Чепур\*, А. А. Тарасенко, З. С. Кутрунова [и др.] – DOI 10.31660/0445-0108-2025-2-124-137 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2025. – № 2. – С. 124–137. – EDN: KBREAT

### **Determining the load-bearing capacity of a tank with wall deformation defects**

**Petr V. Chepur\*, Alexander A. Tarasenko, Zoya S. Kutrunova,  
Mikhail A. Tarasenko, Alesya A. Kolyadko**

**Abstract.** This paper tackles the problem of determining the load-bearing capacity of the wall of a vertical steel cylindrical tank in the presence of shape defects. The aim of this study is to present a methodology for calculating the strength and stability of the tank wall, making it accessible to a broad audience of specialists. The novel approach combines a standard analytical method, as outlined in source, with a numerical method.

This study utilizes classical methods of structural mechanics, existing analytical solutions, and numerical techniques, specifically the finite element method implemented in the ANSYS software package. The results demonstrate that the proposed combined methodology, which integrates both analytical and numerical methods, effectively addresses the issue of verifying the load-bearing capacity for both newly constructed and existing tanks.

The approach presented in this article could serve to enhance current regulatory documentation concerning the evaluation of stress-strain states and technical conditions when geometric shape defects are present.

**Keywords:** tank, RVS, stress-strain state, stresses, deformations, defects

**For citation:** Chepur, P. V., Tarasenko, A. A., Kutrunova, Z. S., Tarasenko, M. A. & Kolyadko, A. A. (2025). Determining the load-bearing capacity of a tank with wall deformation defects. Oil and Gas Studies, (2), pp. 124-137. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2025-2-124-137

## Введение

Вертикальные стальные резервуары широко распространены в отрасли добычи, транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. Обеспечение работоспособности и безотказности таких сооружений имеет важное значение для всей отрасли, поскольку аварии на подобных объектах почти всегда сопровождаются существенным материальным ущербом, экологическими последствиями и возможностями угрозы жизни и здоровью персонала. Достаточно часто вертикальные стальные резервуары строятся и эксплуатируются в районах с неблагоприятными инженерно-геологическими и климатическими условиями. Основные элементы конструкций резервуаров (стенка, днище, окрайка, крыша) являются тонкостенными оболочками и уже на этапе строительства приобретают начальные деформации несущих конструкций, величины которых могут существенно отличаться от проектных значений. Это может быть вызвано, например, процессом консолидации грунтового массива (всего или части) основания резервуара при гидравлических испытаниях. При наличии неравномерного оседания грунтового массива под центральной частью днища и по контуру возникает процесс деформирования тонкостенной оболочки стенки. Дефекты формы оболочки стенки могут быть выявлены в процессе геодезической съемки на двух этапах: до и после гидроиспытаний.

Предельные отклонения размеров и формы стенки резервуара регламентируются [1] п. 8.4.3 и представлены в таблице 1.

Однако, согласно требованию [1] п. 11.16, «В случае если отклонения размеров (до 25 % всех производимых единичных измерений) смонтированного резервуара после завершения испытаний превышают указанные в таблице 1 (приведена ниже по тексту) предельно допустимые значения, то

по согласованию с заказчиком допускается приемка такой конструкции при условии выполнения соответствующих расчетов ее несущей способности.

Таблица 1

*Пределевые отклонения размеров и формы стенки резервуара*

Наименование параметра	Пределевое отклонение, мм, при диаметре резервуара				Примечание
	до 12 м	св. 12 до 25 м	св. 25 до 40 м	св. 40 м	
1 Внутренний диаметр на уровне 300 мм от днища	0,005R	0,003R	0,002R	0,0015R	Четыре измерения с угловыми координатами через 45°. R — радиус резервуара
2 Высота стенки: - до 12 м включ. - св. 12 до 18 м - св. 18 м		±20	±30	±40	Восемь измерений с угловыми координатами через 45°
3 Отклонение по вертикали образующих на высоте каждого пояса ( $H$ — расстояние от днища до точки измерения)		±1/200 H			Измерения проводят не реже, чем через каждые 6 м, по всему периметру стенки. Измерения проводят в пределах 50 мм ниже горизонтальных швов*
4 Локальные отклонения от проектной формы (на длине 1 м)		±15			Измерения проводят вертикальной рейкой и горизонтальным шаблоном контроля радиуса, выполненным по проектному радиусу стенки
5 Местные отклонения от цилиндрической формы вертикальных монтажных сварных швов (угловатость)	В соответствии с требованиями проекта КМ и 10.1.6				Угловатость $f$ — стрела прогиба сварного стыка (измерения проводят шаблоном контроля радиуса, выполненным по проектному радиусу стенки на базе 500 мм)

\* В процессе монтажа металлоконструкций стенки резервуара полистовой сборки отклонения от вертикали в пределах каждого пояса не должны превышать ±1/200 H, мм.

П р и м е ч а н и е — При наличии 25 % единичных измерений с отклонениями образующих от вертикали величиной не более 1/200 H + 30 мм допускается по согласованию с заказчиком и разработчиком КМ приемка такой конструкции для проведения испытаний. После завершения испытаний допускается ввод резервуара в эксплуатацию на основании результатов расчетов несущей способности согласно 11.16. При этом величина зазора между стенкой резервуара и понтоном/плавающей крышей не должна выходить за пределы рабочего диапазона уплотняющего затвора.

Расчеты должны основываться на применении метода конечных элементов, учитывать фактическую геометрию конструкции и соответствовать требованиям настоящего стандарта по прочности (в том числе малоцикловой) и устойчивости. Указанные расчеты должны выполняться профильной организацией и согласовываться авторами КМ».

В [1] не регламентируется порядок проведения расчета методом конечных элементов, пример проведения подобного расчета и методика также отсутствуют. В связи с этим авторы настоящей статьи постарались на примере реально эксплуатируемого, вновь построенного резервуара типа РВС объемом 5 000 м<sup>3</sup> с наличием дефектов формы стенки представить методику проведения расчета его несущей способности. В рамках предлагаемой методики для определения выполнения условий прочности и устойчивости используются как известные аналитические выражения, представленные в [1] и [2], так и методы численного моделирования для определения НДС конструкций резервуара [3–9].

## Объект, методы исследования и результаты

Объект исследования — вертикальный стальной цилиндрический резервуар с конической крышей РВС-5000, имеющий отклонения стенки от вертикальной образующей. На рисунке 1 представлена исполнительная схема, а также ведомость отклонений стенки от вертикальной образующей, результаты которой получены с помощью геодезической съемки электронным тахеометром SOKKIA SET 650.

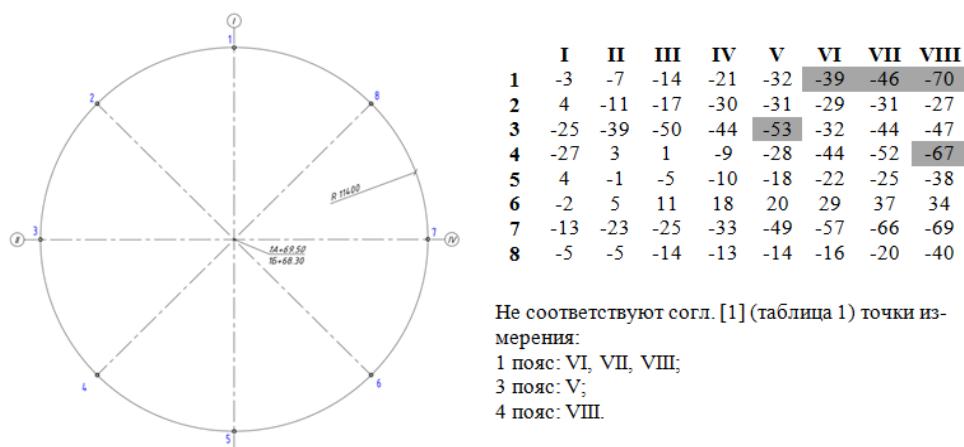


Рис. 1. Исполнительная схема отклонения от вертикали образующих стенки на высоте каждого пояса после гидравлических испытаний

Исходные данные для расчетов приняты с учетом имеющегося проекта, а также данных заказчика, и представлены в таблице 2.

На основании имеющихся исходных данных (табл. 2) выполним расчет прочности и устойчивости тонкостенной оболочки стенки резервуара для идеализированного случая (аналитический метод расчета согласно ГОСТ 31385-2023. «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов» [1]), когда принимается, что стенка резервуара имеет идеальную геометрическую форму цилиндра.

Учитывая, что резервуар РВС-5000 имеет геометрические отклонения формы стенки, а значения, указанные в исполнительной схеме, превышают допустимые (1 пояс: точки № VI, VII, VIII; 3 пояс: точка № V; 4 пояс: точка VIII), согласно действующему нормативному документу [1] следует выполнить расчеты прочности и устойчивости стенки с учетом реальных несовершенств геометрической формы стенки. Применение метода конечных элементов, использование программного комплекса ANSYS и реализация предлагаемой авторами статьи методики позволяет учитывать фактическую геометрию конструкции РВС в соответствии с [1].

**Таблица 2**  
**Исходные данные**

№	Наименование	Ед. изм.	Значение
1	Расчетный срок службы резервуара по проекту	лет	20
2	Плотность хранимого продукта (max), $\rho$	т/м <sup>3</sup>	1,015
3	Высота налива продукта, $H$	м	11,04
4	Высота поясов резервуара: с 1-го по 8-ой	м	1,5
5	Толщины поясов согласно проекту: – 1 пояса; – 2-8 пояса	мм	12 10
6	Диаметр резервуара, $D$	м	22,8
7	Радиус срединной пов-ти стенки РВС, $R$	м	11,4
8	Вес стационарного оборудования, $G_0$	МН	0,15467427
9	Вес теплоизоляции (1 и 2 поясов), $G_t$	МН	0,02671263
10	Вес кровли, $G_r$	МН	0,31243869
11	Гравитационная постоянная, $g$	м/с <sup>2</sup>	9,81
12	Расчетная снеговая нагрузка, $p_s$	МПа	0,0032
13	Нормативное избыточное давление в газовом пространстве резервуара, $p$	Па	2000
14	Нормативное значение вакуума, $p_v$	Па	250
15	Марка стали листов стенки	–	09Г2С
16	Нормативное сопротивление стали, $R_{yn}$	МПа	325
17	Нормативная ветровая нагрузка, $w_0$	Па	0,23
19	Припуск на коррозию стенки, $\Delta t_{ic}$	мм	3
20	Минусовой допуск на прокат, $\Delta t_{im}$	мм	0,8

Прочность стенки резервуара обеспечивается при выполнении условия, согласно которому с расчетным параметром  $R$  сравнивается соотношение, включающее в себя значения меридиональных и кольцевых напряжений в оболочке нейтрального слоя:

$$(\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_{2k} + \sigma_{2k}^2)^{0,5} \leq R, \quad (1)$$

где  $\sigma_{2k}$  — напряжение, возникающее в горизонтальном направлении при разворачивании оболочки (кольцевое напряжение), МПа;  $\sigma_1$  — напряжение, возникающее в вертикальном направлении (меридиональное напряжение в  $i$ -том поясе), МПа

Расчетный параметр  $R$ , МПа, определяется по формуле (2)

$$R = \frac{R_{yn}\gamma_c\gamma_t}{\gamma_m\gamma_n}, \quad (2)$$

где  $R_{yn}$  — нормативное сопротивление, принимаемое равным гарантированному значению предела текучести по действующим стандартам и ТУ на сталь;  $R_{yn} = 325$  МПа;  $\gamma_c$  — безразмерный коэффициент условий работы поя-сов стенки;  $\gamma_m$  — безразмерный коэффициент надежности по материалу;  $\gamma_n$  — безразмерный коэффициент надежности по ответственности;  $\gamma_t$  — безразмерный температурный коэффициент.

Результаты проверки выполнения условий прочности для случая осесимметричного нагружения представим в таблице 3:

Таблица 3

**Результаты расчета стенки резервуара на прочность  
для идеализированного случая без несовершенства формы стенки**

№	H, м	$t_{ir}$ , мм	$\sigma_{\text{ЭКВ}}$ , МПа	$[\sigma]$ , МПа	Выполнение условия (1)
1	0	8,2	154,24	188,02	Выполнено
2	1,5	6,2	176,63	214,88	Выполнено
3	3	6,2	149,27	214,88	Выполнено
4	4,5	6,2	121,92	214,88	Выполнено
5	6	6,2	94,56	214,88	Выполнено
6	7,5	6,2	67,22	214,88	Выполнено
7	9	6,2	39,91	214,88	Выполнено
8	10,5	6,2	12,83	214,88	Выполнено

В связи с тем, что стенка рассматриваемого резервуара имеет отклонения от идеальной вертикальной образующей по всей поверхности, дополнительно выполним расчет прочности с применением метода конечных элементов и модели, позволяющей учесть несовершенства геометрической формы стенки резервуара. Рассчитанные эквивалентные напряжения в полях стенки резервуара аналогично сравним с предельно допускаемыми напряжениями согласно соотношению (2).

Обратимся к расчетной модели резервуара РВС-5000, выполненной с использованием конечно-элементного программного комплекса ANSYS. Особенности геометрического моделирования и применение соответствующих конечных элементов в модели резервуара описаны в [6, 9].

Разбиение на конечные элементы (КЭ) было выполнено с величиной дискретизации элементарных прямоугольных элементов со стороной  $a_{max} = 250$  мм. На рисунке 2 представлена иллюстрация с разбиением модели на КЭ-сетку.

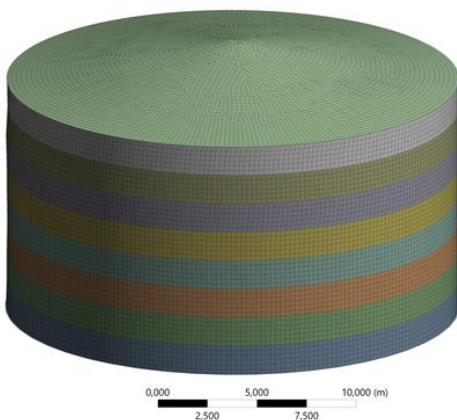


Рис. 2. Разбиение на конечно-элементную сетку

Границные условия определены жестким закреплением нижней плоскости центральной части днища и окрайки по всей площади. Действующие силовые факторы (эксплуатационные нагрузки по [1]) и контактные условия представлены в таблице 4.

Таблица 4  
Параметры расчетной схемы

Закрепление модели	Жесткое закрепление по нижней плоскости центральной части днища (fixed support).
Контактные условия	Связанные (неразрывные — bonded) контакты в местах сварных соединений металлоконструкций (стенки со стенкой, стенки с днищем, стенки с кровлей).
Гидростатическая нагрузка	Столб жидкости плотностью $\rho = 1,015 \text{ т/м}^3$ . В МКЭ-модели нагрузка прикладывается к внутренней поверхности оболочки в соотв. с максимальным уровнем взлива $H = 11,04 \text{ м}$ .
Избыточное давление	Для РВС избыточное давление в газовом пространстве составляет: $p = 0,002 \text{ МПа}$ .
Вакуум	Для РВС давление вакуума составляет: $p_v = 0,00025 \text{ МПа}$ .
Снеговая нагрузка, нагрузка на стенку, нагрузка от кровли	В МКЭ-модели распределяется равномерно по нормали к наружной поверхности конической крыши. Расчетный вес снегового покрова принимается по VII району и составляет: $p_s = 3200 \text{ Па}$ . Нагрузка от веса стационарной кровли $G_r = 0,312 \text{ МН}$ . Нагрузка от веса теплоизоляции $G_i = 0,027 \text{ МН}$ . Нагрузка от веса стационарного оборудования на кровле $G_o = 0,155 \text{ МН}$ .
Ветровая нагрузка	В МКЭ-модели прикладывается равномерно по площади стенки и крыши. Нормативное давление ветра соответствует II ветровому району и составляет: $p_w = 0,23 \text{ кПа}$ .

По результатам постпроцессинговой обработки расчетов на МКЭ-модели получаем следующее распределение максимальных эквивалентных напряжений по фон-Мизесу  $\sigma_{\text{экв}}^{\text{max}}$ , Па (рис. 3):

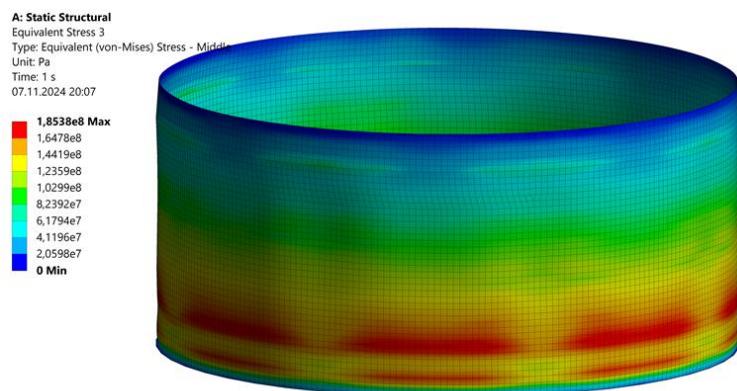


Рис. 3. Максимальные эквивалентные напряжения при  $H = 11,04$  м;  
 $\sigma_{\text{экв}}^{\text{max}} \times 10^8$ , Па

В таблице 5 представлены результаты расчета прочности стенки с применением конечно-элементного программного комплекса и учета реальной геометрии рассматриваемой конструкции оболочки РВС-5000. Из таблицы 5 следует, что условия прочности выполняются для всех поясов стенки согласно исходным данным и действующим эксплуатационным нагрузкам.

Таблица 5

Результаты расчета на прочность с применением МКЭ  
и учетом реальной геометрии

№	$H$ , м	$t_{ir}$ , мм	$\sigma_{\text{экв}}$ , МПа	$[\sigma]$ , МПа	Выполнение условия (1)
1	0	8,2	175,79	188,02	Выполнено
2	1,5	6,2	185,38	214,88	Выполнено
3	3	6,2	166,60	214,88	Выполнено
4	4,5	6,2	133,62	214,88	Выполнено
5	6	6,2	109,91	214,88	Выполнено
6	7,5	6,2	81,11	214,88	Выполнено
7	9	6,2	91,68	214,88	Выполнено
8	10,5	6,2	32,25	214,88	Выполнено

Далее рассмотрим основные подходы, использованные авторами при выполнении расчета на устойчивость.

Устойчивость стенки для основных сочетаний нагрузок (вес конструкций и теплоизоляции, вес снегового покрова, ветровая нагрузка, относительный вакуум в газовом пространстве) проверяется по формуле и считается обеспеченной при выполнении следующего условия:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq 1, \quad (3)$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  — меридиональные (вертикальные) и кольцевые напряжения в срединной поверхности каждого пояса стенки, МПа;  $\sigma_{cr1}$ ,  $\sigma_{cr2}$  — критические меридиональные и кольцевые напряжения, МПа.

В таблице 6 представлены результаты расчета стенки резервуара на устойчивость по соотношению (3).

Таблица 6

**Результаты расчета стенки резервуара на устойчивость**

№	t <sub>ir</sub> , мм	Меридиональные напряжения, МПа		Кольцевые напряжения, МПа		Общая устойчи- вость (RF) ≤ 1	Выполнение условия (3)
		расч., $\sigma_1$	кр., $\sigma_{cr1}$	расч., $\sigma_2$	кр., $\sigma_{cr2}$		
1	8,2	3,92	11,72	0,4885	2,56	0,525	Выполнено
2	6,2	4,99	11,72	0,4885	2,56	0,617	Выполнено
3	6,2	4,79	11,72	0,4885	2,56	0,600	Выполнено
4	6,2	4,60	11,72	0,4885	2,56	0,583	Выполнено
5	6,2	4,40	11,72	0,4885	2,56	0,567	Выполнено
6	6,2	4,20	11,72	0,4885	2,56	0,550	Выполнено
7	6,2	4,01	11,72	0,4885	2,56	0,533	Выполнено
8	6,2	3,81	11,72	0,4885	2,56	0,516	Выполнено

Аналогично вышеизложенному разделу, посвященному расчету на прочность стенки резервуара настоящего отчета, учитывая, что рассматриваемый резервуар имеет несовершенства геометрической формы стенки, необходимо выполнить уточняющий расчет устойчивости с учетом геометрических несовершенств стенки РВС на основе МКЭ.

Для расчета общей устойчивости стенки резервуара расчет НДС стенки опорожненного резервуара реализуется методом конечных элементов в физически и геометрически нелинейной постановке задачи при воздействии сжимающих нагрузок (снеговая, ветровая нагрузки, вес крыши, собственный вес стенки, вакуум).

Используя МКЭ-модель резервуара, определим формы потери устойчивости стенки резервуара. Для каждой формы потери устойчивости расчетным путем с использованием итерационных методов численного

анализа определяется множитель критической нагрузки  $n$  (load multiplier), а также обратная данному множителю величина (reverse factor:  $RF = \frac{1}{n}$ ) — коэффициент общей устойчивости, который не должен превышать 1 согласно (3) в соответствии с ГОСТ 31385-2023 [1], РБ 03-69-2013 [2].

Множитель критической нагрузки  $n$  (load multiplier) вычисляют по формуле

$$n = \frac{P_{cr}}{P}, \quad (4)$$

где  $P_{cr}$  — нагрузка, соответствующая потере устойчивости либо появлению возможности существования новых форм равновесия системы;  $P$  — расчетная нагрузка.

На рисунках 4–6 представлены эпюры распределения перемещений для 1-й – 3-й форм потери устойчивости. Множитель критической нагрузки определяется для всей оболочки стенки в целом, без выделения отдельных поясов.

В модели учитывается конструкция стационарной крыши и кольца жесткости, однако на эпюрах перемещений представлены только оболочки стенки в соответствии с [1] и [2].

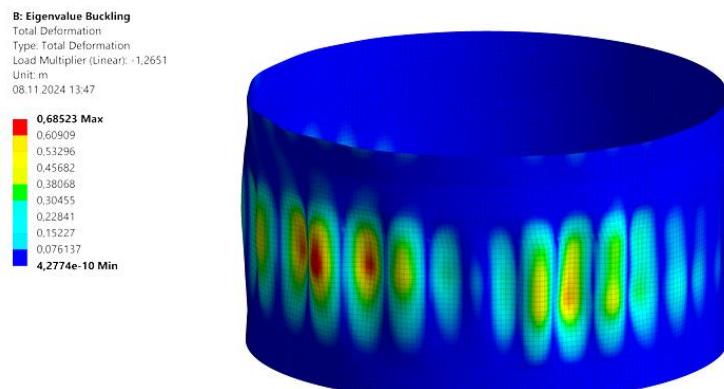


Рис. 4. 1-я форма потери устойчивости при значении  $RF_1 = 0,79$

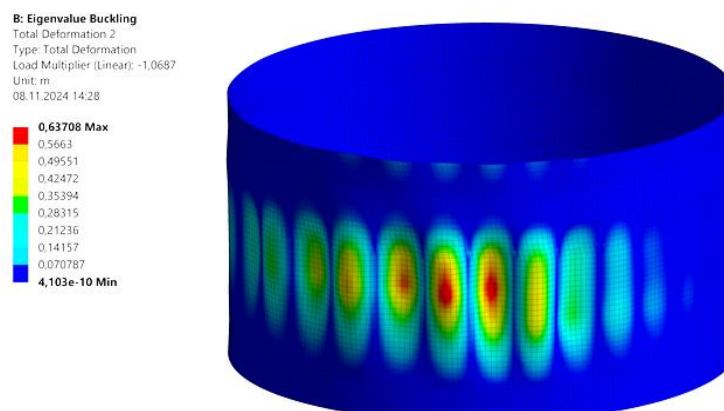


Рис. 5. 2-я форма потери устойчивости при значении  $RF_2 = 0,94$

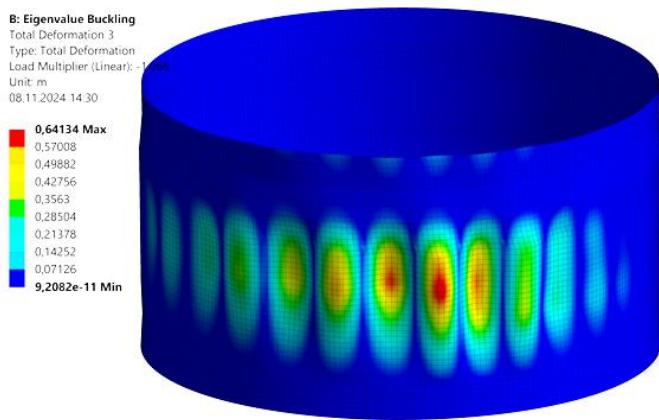


Рис. 6. 3-я форма потери устойчивости при значении  $RF_3 = 0,93$

В таблице 7 представлены результаты расчета на устойчивость стенки резервуара в соответствии с соотношением (3) и учетом несовершенств геометрической формы стенки резервуара РВС-5000.

Таблица 7

**Расчет устойчивости стенки с учетом несовершенств геометрии на основе МКЭ в программном комплексе ANSYS**

№	$t_{ir}$ , мм	Общая устойчивость (для первых 3 форм потери устойчивости) $RF \leq 1$ согласно (3)			Заключение
		$RF_1$	$RF_2$	$RF_3$	
1	8,2	0,79	0,94	0,92	Годен
2	6,2				Годен
3	6,2				Годен
4	6,2				Годен
5	6,2				Годен
6	6,2				Годен
7	6,2				Годен
8	6,2				Годен

В результате расчета аналитическим методом (для идеализированного случая с идеальной цилиндрической формой стенки), численным методом (на основе МКЭ-модели с учетом несовершенств геометрической формы) получено следующее заключение.

Общая устойчивость стенки резервуара обеспечивается при проектных (нормативных) значениях нагрузок. Условие устойчивости (3) полностью обеспечивается для с 1-го по 8-й пояса стенки резервуара.

## **Выводы**

Полученные авторами результаты свидетельствуют о том, что использование предложенной методики комбинированного решения, включающего в себя аналитические и численные методы, позволяет успешно решать задачу подтверждения несущей способности как для вновь построенного, так и уже введенного в эксплуатацию резервуара.

Особую актуальность методика приобретает в случае необходимости подтвердить несущую способность резервуара, имеющего отклонения геометрической формы стенки после проведенных гидроиспытаний согласно [1]. Таким образом, описанный в настоящей статье подход может быть использован для дополнения существующей нормативной документации в части оценки напряженно-деформированного и технического состояний при наличии дефектов геометрической формы. Подобный подход использования методики также может быть распространен на случаи, связанные с неосесимметричными деформациями кровли, днища, кольца жесткости и фундаментного кольца резервуара.

В настоящий момент рассмотренный в статье объект, резервуар объемом 5 000 м<sup>3</sup>, успешно введен в эксплуатацию на основании использованной методики и выполненных расчетов по определению несущей способности.

## **Список источников**

1. ГОСТ 31385-2023. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия: утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2023 г. 2023-08-01. № 462-ст: дата введ. 2023-08-01. – Москва : Российский институт стандартизации. – 2023. – 118 с.
2. РБ Серия 03, Выпуск 69. Руководство по безопасности вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. – Москва : ЗАО «НТЦ исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 240 с. – Текст : непосредственный
3. Тарасенко, А. А. Закономерности деформирования металлоконструкций крупногабаритного вертикального сварного резервуара при наличии зон проседания основания / А. А. Тарасенко, А. А. Грученкова, П. В. Чепур. – Текст : непосредственный // Трубопроводный транспорт : теория и практика. – 2016. – № 1 (53). – С. 32–37.
4. Тарасенко, А. А. Особенности совместной работы кольцевого фундамента и грунтового основания при наличии зон неоднородности / А. А. Тарасенко, П. В. Чепур. – Текст : непосредственный // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2016. – № 4. – С. 9–13.
5. Чепур, П. В. Оценка воздействия приемо-раздаточного патрубка при развитии осадки резервуара / П. В. Чепур, А. А. Тарасенко. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–3. – С. 540–544.
6. Тарасенко, А. А. Напряженно-деформированное состояние верхнего опорного кольца резервуара при неосесимметричных деформациях корпуса / А. А. Тарасенко, П. В. Чепур. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–3. – С. 525–529.

7. Семин, Е. Е. Использование программных комплексов при оценке технического состояния и проектирование ремонтов вертикальных стальных резервуаров / Е. Е. Семин, А. А. Тарасенко. – Текст : непосредственный // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2006. – № 4 (6). – С. 85–87.
8. Тарасенко, А. А. Оценка работоспособности крупногабаритного резервуара РВСПК-100000 при образовании зоны неоднородности грунтового основания / А. А. Тарасенко, П. В. Чепур, Ю. Гуань. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 134–136.
9. Тарасенко, А. А. Оценка технического состояния резервуаров с недопустимыми геометрическими несовершенствами формы стенки / А. А. Тарасенко, П. В. Чепур, А. А. Грученкова. – DOI 10.24887/0028-2448-2017-6-118-121. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 6. – С. 118–121.

#### **References**

1. GOST 31385-2023. (2023). Vertical cylindrical steel tanks for oil and oil products. General specifications. Moscow, Rossijskij institut standartizacii Publ., 2023, 118 p. (In Russian).
2. RB Series 03, Issue 69. (2013). Guidelines for safety of vertical cylindrical steel tanks for oil and petroleum products. Moscow: CJSC 'STC Research Centre for Industrial Safety Problems, 240 p. (In Russian).
3. Tarasenko, A. A., Gruchenkova, A. A., & Chepur, P. V. (2016). The regularities of large vertical tank's metal structures deformations in the presence of subsidence foundation zones. Pipeline transport: theory and practice, (1 (53)), pp. 32-37. (In Russian).
4. Tarasenko, A. A., & Chepur, P. V. (2016). Aspects of the joint operation of a ring foundation and a soil bed with zones of inhomogeneity present. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 53(4), pp. 238-243. (In Russian).
5. Chepur, P. V. & Tarasenko, A. A. (2014). Impact assessment reception dispensers nozzle in the development of settlements tank. Fundamental research. (11-3), pp. 540-544. (In Russian).
6. Tarasenko, A. A., & Chepur, P. V. (2014). Stress-strain state of the upper support ring with non-axisymmetric deformations. Fundamental research, (11-3), pp. 525-529. (In Russian).
7. Semin, E. E., & Tarasenko, A. A. (2006). The use of software systems in assessing the technical condition and designing repairs of vertical steel tanks. Pipeline transport: theory and practice, (4 (6)), pp. 85-87. (In Russian).
8. Tarasenko, A. A., Chepur, P. V., & Guan, Yu. (2016). Performance evaluation of large tank RVSPK-100000 in development of differential settlement area. Oil industry, (4), pp. 134-136. (In Russian).
9. Tarasenko, A. A., Chepur, P. V., & Gruchenkova, A. A. (2017). Evaluation of technical condition of tanks with geometrical imperfections form wall. Oil industry, (6), pp. 118-121. (In Russian). DOI: 10.24887/0028-2448-2017-6-118-121

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

**Чепур Петр Владимирович,** кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной механики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, chepur\_p\_v@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6722-459X>

**Petr V. Chepur,** Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mechanics, Industrial University of Tyumen, chepur\_p\_v@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6722-459X>

**Тарасенко Александр Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3903-0632>

**Кутрунова Зоя Станиславовна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры строительной механики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**Тарасенко Михаил Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**Колядко Алеся Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела (филиал ТИУ в г. Сургуте), Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**Alexander A. Tarasenko, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen, Industrial University of Tyumen, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3903-0632**

**Zoya S. Kutrunova, Candidate of Physical And Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Building Mechanics, Industrial University of Tyumen**

**Mikhail A. Tarasenko, Mikhail A. Tarasenko, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Tyumen Industrial University**

**Alesya A. Kolyadko, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Petroleum Engineering, Industrial University of Tyumen**

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 10.12.2024; принятая к публикации 20.12.2024.

The article was submitted 02.12.2024; approved after reviewing 10.12.2024; accepted for publication 20.12.2024.