

Научная статья / Original research article

УДК 621.642.39

DOI:10.31660/0445-0108-2025-5-112-125

EDN: IKMSCQ



**Разработка гибридной методики мониторинга резервуаров,
возведенных на многолетнемерзлых грунтах**

П. В. Чепур^{1*}, А. А. Колядко², М. А. Тарасенко¹, А. А. Тарасенко¹

¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

²Сургутский институт нефти и газа (филиал) Тюменского индустриального университета, Сургут, Россия

*chepur_p_v@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния резервуара с учетом данных гибридного мониторинга, проведенного в условиях криолитозоны. Гибридный мониторинг представляет собой интеграцию классической геодезической съемки стенки, нивелирования дна и автоматизированного контроля осадок центральной части дна при эксплуатации резервуара.

В работе был применен численный метод расчета в программной среде ANSYS. Рассмотрены три варианта расчета: с учетом данных геодезического контроля стенки и дна; с учетом дополнительных данных — измерений экстензометров; с учетом истории деформирования резервуара и данных экстензометров.

Установлено, что осадки центральной части дна приводят к возникновению локальных зон концентрации напряжений в стенке резервуара. Также накопленные деформации формируют начальное напряженно-деформированное состояние конструкции, которое усугубляется при дальнейшей деформации сооружения. Применение гибридного мониторинга в сочетании с численным моделированием позволяет прогнозировать изменение напряженно-деформированного состояния резервуара, что служит основой для разработки превентивных мер по предотвращению аварий.

Ключевые слова: резервуар, РВС, напряженно-деформированное состояние, многолетнемерзлые грунты, деформации, напряжения, гибридный мониторинг

Для цитирования: Разработка гибридной методики мониторинга резервуаров, возведенных на многолетнемерзлых грунтах / П. В. Чепур, А. А. Колядко, М. А. Тарасенко, А. А. Тарасенко. — DOI 10.31660/0445-0108-2025-5-112-125 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2025. — № 5. — С.112–125. — EDN: IKMSCQ

**Development of a hybrid methodology for monitoring tanks built
on permafrost soils**

Petr V. Chepur^{1*}, Alesya A. Kolyadko², Mikhail A. Tarasenko¹, Alexander A. Tarasenko¹

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

²Branch of TIU in Surgut, Surgut, Russia

*chepur_p_v@mail.ru

Abstract. This paper examines the stress-strain state of a tank using data obtained through hybrid monitoring conducted in permafrost conditions. Hybrid monitoring integrates traditional geodetic surveys of the tank walls, levelling of the tank bottom, and automated settlement control of the central part of the bottom during the tank's operation.

The authors applied a numerical method using the ANSYS software environment. Also, they reviewed three calculation options: one utilizing geodetic control data for the wall and bottom, another incorporating extensometer measurements, and a third combining deformation history data of the tank along with extensometer readings.

The study found that settlements in the central bottom lead to localized zones of stress concentration in the tank wall. Additionally, accumulated deformations create an initial stress-strain state in the structure, which deteriorates as the tank continues to deform. The integration of hybrid monitoring with numerical modeling enables predictions of changes in the tank's stress-strain state. These predictions form the basis for developing preventive measures to avert accidents.

Keywords: tank, RVS, stress-strain state, permafrost soils, deformations, stresses, hybrid monitoring

For citation: Chepur, P. V., Kolyadko, A. A., Tarasenko, M. A. & Tarasenko, A. A. (2025). Development of a hybrid methodology for monitoring tanks built on permafrost soils. *Oil and Gas Studies*, (5), pp. 112-125. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2025-5-112-125

Введение

Арктика — зона пересечения мировых энергетических интересов, так как на ее территории находится огромное количество неразведанных запасов нефти и газа. Активное освоение этой территории нефтегазовыми компаниями сопровождается строительством крупных резервуарных парков, обеспечивающих хранение и перевалку углеводородов. Арктическая зона отличается преобладанием многолетнемерзлых грунтов (ММГ), что обуславливает особые требования к проектированию, строительству и эксплуатации резервуаров. Основная проблема заключается в том, что мерзлые грунты обладают высокой несущей способностью только при сохранении отрицательных температур. Однако глобальное потепление и техногенные факторы вызывают развитие геокриологических процессов в криолитозоне, включая деградацию вечной мерзлоты, изменение гидрогеологических условий, морозное пучение, термокарстовые явления, изменение структуры грунта при оттаивании-замораживании и другое [1]. Указанные процессы могут привести к существенному снижению несущей способности грунтов основания резервуара [2], что взаимосвязано с высокими инженерными и экологическими рисками.

Напряженно-деформированное состояние (НДС) вертикального стального резервуара (РВС) формируется под воздействием совокупности ключевых факторов. К ним относятся: эксплуатационные нагрузки, неравномерные осадки, конструкционные особенности, температурные колебания, грунтовые условия и режим эксплуатации [3]. Для более точной оцен-

ки НДС резервуара необходимо учитывать не только текущие воздействия, но и предшествующие факторы — историю нагружения и деформирования конструкции [4], а также динамику изменения климатических параметров. Это позволит учесть накопленные пластические деформации, усталостные повреждения, остаточные напряжения после монтажа или ремонта, а также дополнительные напряжения в металле, вызванные деформацией основания при температурных изменениях мерзлого грунта. Указанные факторы взаимосвязаны: например, изменение температуры грунта приводит к перераспределению нагрузок, что, в свою очередь, вызывает дополнительные напряжения и деформации в металлоконструкции РВС. Благодаря этому подходу можно достоверно прогнозировать изменение напряженно-деформированного состояния резервуара в условиях криолитозоны.

Базовым методом определения деформаций РВС выступает геодезический контроль, основанный на определении пространственного положения контрольных точек конструкции резервуара. Согласно требованиям нормативно-технических документов [5] геодезический контроль геометрических параметров резервуара должен выполняться на трех этапах: до проведения гидравлических испытаний, в период их проведения и после завершения. Кроме этого, геодезическое обследование входит в перечень обязательных работ при проведении частичной и полной диагностики РВС с периодичностью, указанной в таблице 1 [6]. Очевидно, что для резервуаров, эксплуатируемых в условиях криолитозоны, установленная периодичность геодезического контроля является недостаточной, поскольку мерзлые грунты подвержены значительным сезонным деформациям, обусловленным колебаниями температурного режима.

Таблица 1

Периодичность частичного и полного технического диагностирования РВС

Класс резервуара	Частичная диагностика		Полная диагностика	
КС-3а	Не реже одного раза в 5 лет		Не реже одного раза в 10 лет	
КС-2а КС-2б КС-3б	Срок эксплуатации		Срок эксплуатации	
	до 20 лет	более 20 лет	до 20 лет	более 20 лет
	Один раз в 10 лет после пуска в эксплуатацию, последней диагностики или ремонта	Один раз в 5 лет после последней диагностики или ремонта	Один раз в 20 лет после пуска в эксплуатацию ¹ , последнего ремонта или через 10 лет после частичной диагностики	Один раз в 10 лет после последнего ремонта или через 5 лет после частичной диагностики

¹Примечание: с контролем скорости коррозии по результатам измерений толщины днища, нижних поясов стенки внутри одного резервуара из группы

Геодезический контроль геометрических параметров резервуара состоит из двух этапов — нивелирования наружного контура днища и определения отклонений стенки.

Нивелирование окрайки позволяет определить относительные и абсолютные высотные отметки наружного контура днища с помощью нивелира, а также локальные деформации. Количество точек нивелирования соответствует числу вертикальных швов первого пояса стенки, при этом расстояние между точками не должно превышать 6 м. При проведении нивелирной съемки выполняют измерения высотных отметок точек по всей окружности объекта с последующей фиксацией результатов в журнале. После завершения съемки приступают к расчету отклонений окрайки днища от горизонтальной плоскости. Фактические отклонения не должны превышать предельно допустимые значения (табл. 2), установленные нормативными документами [6].

Таблица 2

Предельные отклонения размеров и формы днища

Наименование параметра	Предельное отклонение, мм, при диаметре резервуара				Примечание
	до 12 м	св. 12 до 25 м	св. 25 до 40 м	св. 40 м	
1 Высота местных выпучин или вмятин на центральной части днища	$f \leq 0,0308R$				f – максимальная стрелка вмятины или выпучины на днище, мм; R – радиус вписанной окружности на любом участке вмятины или выпучины, мм. Резкие перегибы и складки не допускаются
2 Местные отклонения от проектной формы в зонах радиальных монтажных сварных швов кольца окрайки (угловатость)	± 3				Измерения проводят шаблоном на базе 200 мм
3 Подъем окрайки в зоне сопряжения с центральной частью днища	$f_a \leq 0,03L$		$f_a \leq 0,04L$		f_a – высота подъема окрайки, мм; L – ширина окрайки, мм
Отметка наружного контура днища При пустом резервуаре: - разность отметок соседних точек на расстоянии 6 м по периметру - разность отметок любых других точек	8 15	10 20	15 25	20 30	—
Отметка наружного контура днища При заполненном водой резервуаре: - разность отметок соседних точек на расстоянии 6 м по периметру - разность отметок любых других точек	15 25	20 30	25 35	30 40	—

Для контроля вертикальности цилиндрической оболочки резервуара и выявления ее локальных деформаций выполняют геодезические измерения отклонений, образующих стенки от вертикали, проведенной от базовой точки, расположенной в нижней части первого пояса. Измерения проводят на расстоянии 5 см от верхней кромки каждого последующего пояса. Количество контролируемых образующих, как правило, соответствует количеству вертикальных сварных швов первого пояса стенки, а максимальное расстояние между ними не должно превышать 6 м. Для определения отклонений стенки используют такие геодезические приборы, как тахеометры, теодолиты, лазерные 3D-сканеры. Полученные значения отклонений должны находиться в пределах, установленных в [6] (табл. 3).

Таблица 3

Предельные отклонения размеров и формы стенки

Наименование параметра	Предельное 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 включительно - 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, выполненным по проектному радиусу стенки
5 Местные отклонения от цилиндрической формы вертикальных монтажных сварных швов (угловатость)	В соответствии с требованиями проекта КМ и указаниями в п.п. 10.1.6 и 10.1.7				Угловатость f – стрела прогиба сварного стыка (измерения проводят шаблоном, выполненным по проектному радиусу стенки на базе 500 мм)
* В процессе монтажа стенки резервуара полистовой сборки отклонения от вертикали в пределах каждого пояса не должны превышать ±1/200 H, мм. 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.					

Следует отметить, что в настоящее время существует широкий спектр оборудования для геотехнического мониторинга резервуаров, построенных на многолетнемерзлых грунтах: тепловизоры (приборы для бесконтактного мониторинга температурных полей), термометрические кабели (системы непрерывного контроля температурного режима), беспровод-

ные температурные датчики (устройства для дистанционного измерения температуры), ячейки давления (оборудование для мониторинга напряжений и деформаций), тензометры (датчики, фиксирующие деформации и механические напряжения), экстензометры (устройства для регистрации деформаций), инклинометры (приборы для измерения углов наклона и горизонтальных смещений) и другие. Современные системы геотехнического мониторинга обеспечивают сбор массива данных, характеризующих динамику ключевых параметров резервуара и грунтов его основания. Однако отсутствие единого программно-аппаратного комплекса, интегрирующего функции сбора, обработки и аналитической интерпретации получаемых данных, снижает эффективность геотехнического мониторинга и повышает риски недостоверности результатов.

Так, для оценки напряженно-деформированного состояния резервуаров, эксплуатируемых в изменяющихся геокриологических условиях, авторами предложена гибридная методика мониторинга. Она объединяет результаты классической геодезической съемки стенки и наружного контура днища с показаниями экстензометров (датчиков перемещений), установленных в конструкции фундамента РВС. Применение экстензометров, установленных непосредственно в фундаменте, обусловлено необходимостью учета деформаций центральной части днища в процессе эксплуатации резервуара.

Объект, методы исследования и результаты

Объект исследования — вертикальный стальной резервуар РВС-10000, установленный на свайном фундаменте — наиболее распространенный тип при строительстве в условиях ММГ. Основные технические характеристики сооружения и эксплуатационные нагрузки: диаметр — 34 200 мм, высота стенки — 12 000 мм, толщина 1-го пояса — 14 мм, толщина 2-го пояса — 12 мм, толщина 3–8 поясов — 10 мм, высота поясов — 1 500 мм, высота налива продукта при эксплуатации — 10 720 мм, плотность продукта — $0,885 \text{ г/см}^3$, ветровая нагрузка — 7,3 кПа, избыточное давление — 2 кПа, снеговая нагрузка — 3,2 кПа. Характеристики фундамента: количество свай — 270 штук, длина сваи — 10 м, сечение сваи — квадратное $350 \times 350 \text{ мм}$, ростверк — монолитная железобетонная плита. Характеристики инженерно-геологических элементов (ИГЭ) грунтового основания: ИГЭ-1 — уплотненный насыпной грунт мощностью 1 м, ИГЭ-2 — торф сезонно-талый мощностью 1,8 м; ИГЭ-3 — супесь пылеватая мерзлая мощностью 2,2 м; ИГЭ-4 — песок мелкий с прослоями льда мощностью 4 м; ИГЭ-5 — глина моренная мерзлая мощностью 4 м; ИГЭ-6 — аргиллиты мерзлые мощностью 3 м.

В результате применения методики гибридного мониторинга, проведенного в соответствии с исполнительной схемой, представленной на рисунке 1, были выявлены отклонения стенки, окрайки и центральной части

днища от проектного положения. Геодезическая съемка стенки была выполнена с использованием высокоточного тахеометра TS60 (Leica) и позволила определить отклонения в 144 контрольных точках (табл. 4). Для определения относительных высотных отметок наружного контура днища был использован нивелир С-28 (RGK), количество контрольных точек соответствовало числу вертикальных швов стенки и составило 18 (табл. 4).

Таблица 4

Результаты измерений отклонений образующих стенки от вертикали и нивелирования наружного контура днища резервуара

	Величина отклонения образующей стенки, мм								
Номер пояса	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Предельные отклонения	37,5	45	52,5	60	67,5	75	82,5	90	
	-37,5	-45	-52,5	-60	-67,5	-75	-82,5	-90	
№ 1	14	14	31	39	39	34	36	27	
№ 2	7	14	21	23	21	15	12	12	
№ 3	12	18	24	27	30	33	26	26	
№ 4	1	-4	-2	14	7	16	18	28	
№ 5	13	-1	6	10	5	5	10	5	
№ 6	14	-2	-2	-2	-4	-12	-9	-13	
№ 7	-18	-27	-26	-23	-24	-31	-31	-31	
№ 8	1	-14	-7	-4	-4	-13	-26	-8	
№ 9	5	6	7	12	17	10	5	6	
№ 10	8	9	11	9	8	0	-5	0	
№ 11	0	-2	-8	-18	-23	-26	-28	-32	
№ 12	-8	-16	-19	-19	-23	-30	-38	-26	
№ 13	-2	-3	-12	-9	-12	-17	-15	-22	
№ 14	3	-8	-9	-10	-20	-21	-19	-25	
№ 15	-7	-27	-25	-24	-24	-29	-29	-33	
№ 16	11	-7	-8	-11	-14	-16	-20	-22	
№ 17	2	-3	-6	-3	-4	-8	-11	-6	
№ 18	3	5	11	15	19	23	26	27	
	Отклонения наружного контура днища, мм								
№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предельное отклонение	25 мм — разность отметок соседних точек на расстоянии 6 м								
	35 мм — разность отметок любых других точек								
Отклонение	2	0	39	54	61	70	57	50	41
№ точки	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Предельное отклонение	25 мм — разность отметок соседних точек на расстоянии 6 м								
	35 мм — разность отметок любых других точек								
Отклонение	36	45	39	30	20	22	19	14	12

Контроль осадки центральной части днища осуществлялся с помощью сети датчиков перемещений (Sisgeo), жестко закрепленных на сваях фундамента. Датчики расположены по схеме (рис. 1): 1 датчик — в геометрическом центре днища резервуара, 8 — на расстоянии от центра, равном

половине радиуса резервуара, с равномерным расположением по окружности [1]. Анализ полученных данных показал, что все фактические отклонения стенки и наружного контура днища находятся в пределах допустимых значений. Для корректной оценки отклонений полотнища днища необходимо определить радиус вписанной окружности в зону деформации (вмятины или выпучины), однако в условиях эксплуатации резервуара измерить этот геометрический размер невозможно.

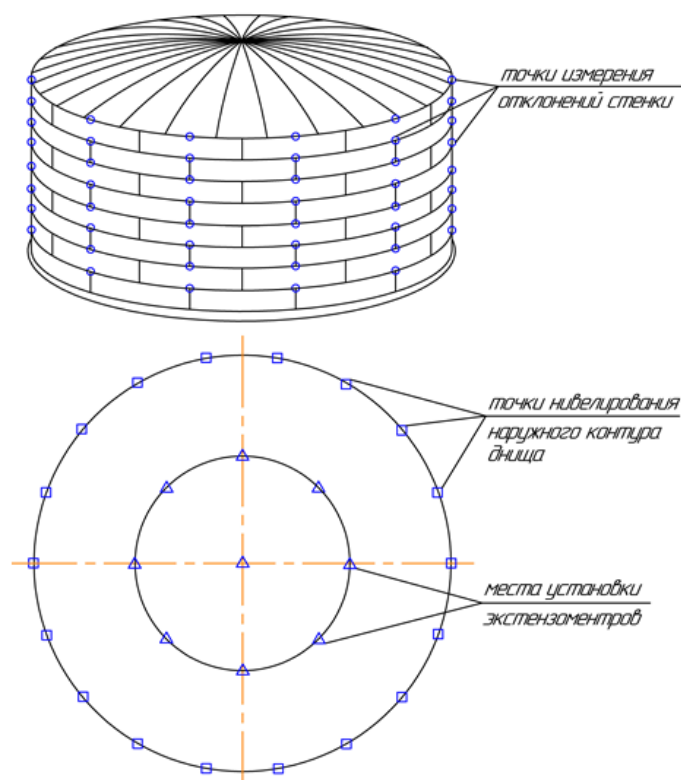


Рис. 1. Исполнительная схема гибридного мониторинга резервуара

Для исследования напряженно-деформированного состояния резервуара был выбран метод конечно-элементного анализа в программной среде ANSYS. Выбор численного подхода обусловлен необходимостью моделирования сложной геометрии сооружения, не поддающейся описанию в рамках аналитических методов [7, 8].

Конечно-элементная модель резервуара РВС-10000 учитывает все выявленные в ходе мониторинга отклонения стенки, окрайки и полотнища днища, эксплуатационные нагрузки, а также особенности свайного фундамента и грунтового основания [9, 10]. Граничные условия модели включают: упругое закрепление в системе «свая — грунт», неразрывный контакт

в зонах сопряжения «днище — ростверк», «стенка — днище», «стенка — крыша». Грунтовое основание моделировалось с помощью коэффициента постели, заданного для каждого слоя грунта.

В первом варианте расчета были учтены только перемещения стенки и наружного контура днища, в результате были получены поля распределения максимальных эквивалентных напряжений (рис. 2) и деформаций в металлоконструкциях резервуара. Анализ полученных результатов показал, что максимальные значения деформаций и напряжений не превышают допустимых пределов, установленных нормативной документацией [6].

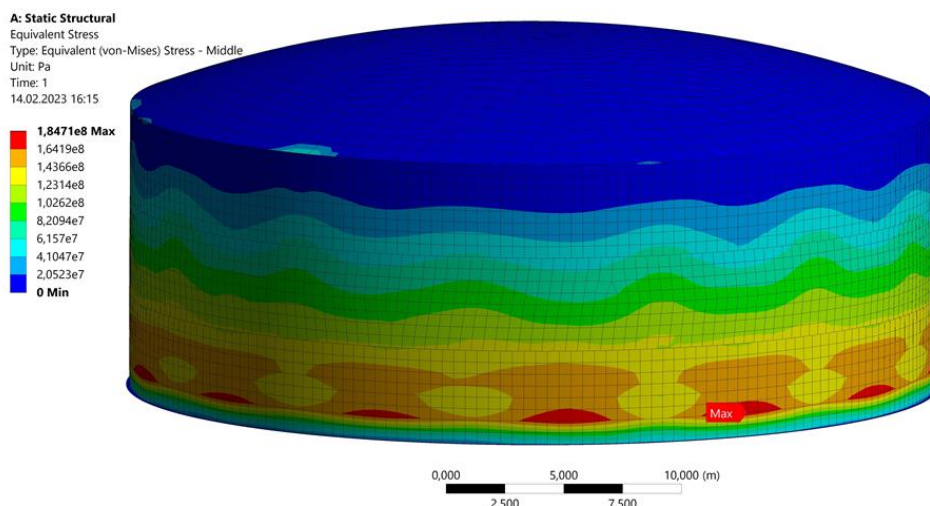


Рис. 2. Поля распределения максимальных эквивалентных напряжений в конструкции РВС-10000

Во втором варианте расчета дополнительно учитывались перемещения свай, определенные на основе данных экстензометрических измерений. Проведенный анализ результатов выявил наличие локальных зон концентрации напряжений в стенке резервуара, в которых эквивалентные напряжения превышают допустимые значения. Полученные результаты свидетельствуют о том, что осадки центральной части днища в сочетании с деформациями окрайки и стенки резервуара могут существенно влиять на изменение НДС РВС. Этот факт подтверждает, что неучет перемещений полотнища днища приводит к существенным расхождениям между расчетными и реальными параметрами НДС.

Кроме этого, при расчете НДС резервуара необходимо учитывать историю нагружения и деформирования конструкции, поскольку возникающие в процессе эксплуатации напряжения и деформации не исчезают, а изменяются во времени, формируя начальное НДС, значительно влияющее на дальнейшую работу конструкции.

Для оценки изменений НДС РВС-10000 с учетом истории нагружения и деформирования были выполнены численные расчеты, в которых учитывались фактические отклонения всех образующих стенки и наружного контура днища, зафиксированные с 2018 по 2024 год. За исходные данные были взяты результаты ежегодного геодезического мониторинга за 7-летний период. Например, на рисунке 3 представлены отклонения образующей № 1 стенки, а на рисунке 4 — результаты нивелирования наружного контура днища. Моделирование процесса деформирования конструкции выполнялось путем задания перемещений в контрольных точках с помощью команды displacement.

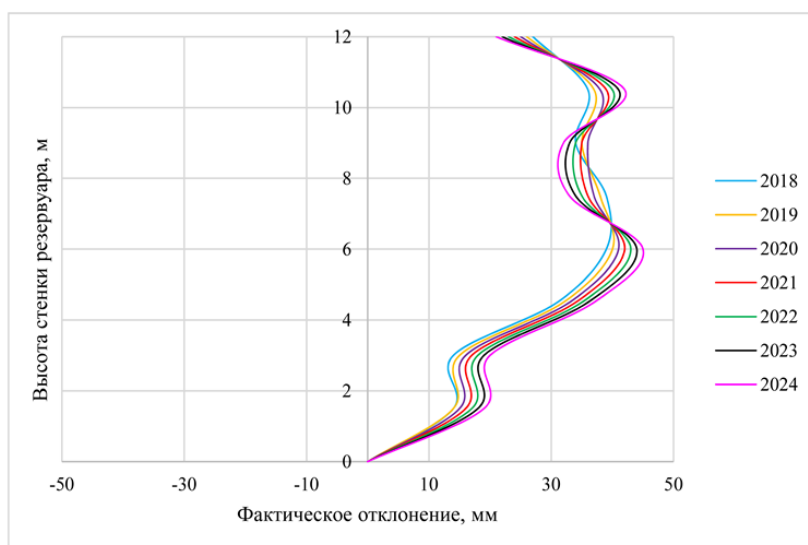


Рис. 3. Фактические отклонения образующей № 1 стенки РВС-10000

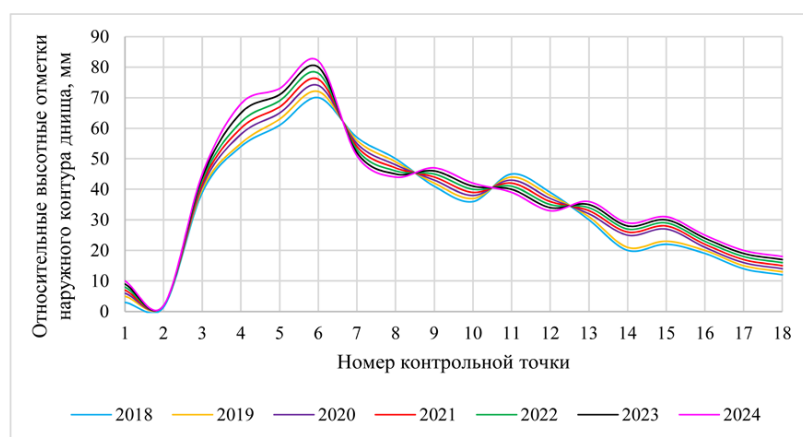


Рис. 4. Фактические отклонения точек наружного контура днища РВС-10000 от проектного положения

В результате численного моделирования были определены значения деформаций и максимальных эквивалентных напряжений, возникающих в стенке РВС. На основании полученных результатов были построены графические зависимости, отражающие влияние накопленных деформаций на изменение НДС резервуара в дальнейшем (рис. 5). Следует отметить, что при расчете напряжений за 2023 и 2024 годы дополнительно учитывались данные измерений, полученные с помощью экстензометров.

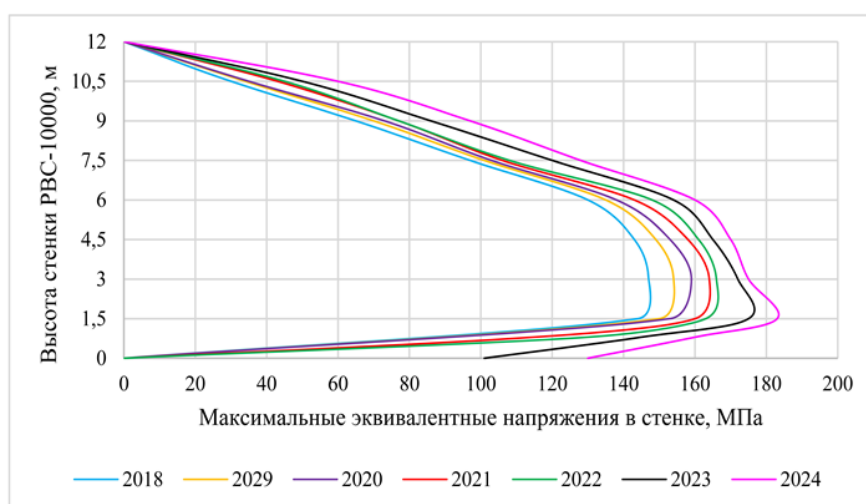


Рис. 5. *Распределение максимальных эквивалентных напряжений по высоте стенки*

Из анализа установленных зависимостей видно, что учет накопленных деформаций за предшествующий период эксплуатации приводит к постепенному росту напряжений в стенке резервуара с течением времени. Кроме того, установлено, что включение в анализ дополнительных данных — результатов мониторинга осадки центральной части днища с помощью экстензометров — существенно влияет на определение распределения напряжений, особенно в первом поясе стенки и в зоне сопряжения стенки с окрайкой. Наблюдаемые изменения НДС в этой зоне связаны с перераспределением нагрузок из-за локальных осадок основания.

Выводы

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что применение гибридной методики мониторинга резервуаров позволяет определить параметры НДС с высокой степенью точности, а также выявить локальные зоны концентрации напряжений. Особое значение имеет учет истории нагружения и накопленных деформаций, так как они формируют начальное НДС, оказывающее влияние на дальнейшую работу резервуара. Численное моделирование на основе разработанной модели с ис-

пользованием данных геодезического мониторинга и экстензометрических измерений позволило установить тенденцию роста напряжений в стенке, особенно в первом поясе. Это подтверждает необходимость комплексного подхода при оценке напряженно-деформированного состояния резервуаров, построенных на многолетнемерзлых грунтах.

Полученные результаты дают возможность прогнозировать изменение параметров НДС резервуара на основе предыдущих и настоящих измерений. Включение в расчеты данных о деформации основания в центральной части днища повышает точность прогноза, что крайне важно для оценки прочности конструкции. Таким образом, предложенная методика позволяет выявлять критические зоны и разрабатывать меры для предотвращения аварийных ситуаций, обеспечивая безопасную эксплуатацию резервуара в течение всего срока службы.

Список источников

1. Геотехнический мониторинг объектов нефтегазодобычи в криолитозоне / Н. Г. Гилев, Ю. С. Поверенный, М. С. Павлов [и др.]. – Текст : непосредственный // *Фундаменты*. – 2021. – № 4. – С. 34–36.
2. Синицкий, А. И. Актуальность геотехнического мониторинга городов и объектов нефтегазовой отрасли в арктической зоне Российской Федерации / А. И. Синицкий, А. Н. Громадский. – Текст : непосредственный // *Научный журнал Российского газового общества*. – 2020. – № 1(24). – С. 19–27.
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. 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.
5. РД-23.020.00-КТН-170-13. Требования к монтажу металлических конструкций вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов на объектах нового строительства, технического перевооружения и реконструкции : утв. ОАО «АК «Транснефть» 13.12.23 : введ. в действие с 14.01.01. – Москва : ОАО «АК «Транснефть», 2013. – 175 с. – Текст : непосредственный.
6. 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. – Текст : непосредственный.
7. 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.
8. 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.

9. 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.
10. 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.

References

1. Gilev, N. G., Poverennyj, Yu. S., Pavlov, M. S., Zenkov, E. V., Shestakov, D. Yu., & Popov, A. A. (2021). Geotechnical monitoring of oil and gas production facilities in the cryolithozone. *Fundamenty*, (4), pp. 34-36. (In Russian).
2. Sinitskiy, A. I. & Gromadskiy, A. N. (2020). The relevance of continuous geotechnical monitoring of cities and oil and gas industry facilities in the Arctic zone of the Russian Federation, *Scientific journal of Russian gas society*, (1(24)), pp. 19-27. (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., & 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
5. RD-23.020.00-KTN-170-13 (2013). Requirements for the installation of metal structures of vertical cylindrical tanks for storing oil and petroleum products at new construction, technical conversion and reconstruction facilities. Moscow: OAO «AK «Transneft», 175 p. (In Russian).
6. 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).
7. 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).
8. 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).
9. 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).
10. 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).

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>.

Колядко Алеся Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела, Сургутский институт нефти и газа (филиал) Тюменского индустриального университета, г. Сургут, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5376-5221>

Тарасенко Михаил Алексан-дрович, кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

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

Alesya A. Kolyadko, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Petroleum Engineering, Surgut Institute of Oil and Gas (Branch of Industrial University of Tyumen), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5376-5221>

Mikhail A. Tarasenko, Candidate of Engineering, Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen, Russia, Tyumen

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

Статья поступила в редакцию 16.05.2025; одобрена после рецензирования 03.06.2025; принята к публикации 22.08.2025.

The article was submitted 16.05.2025; approved after reviewing 03.06.2025; accepted for publication 22.08.2025.