

УДК 621.642.3

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-790-799>

EDN: PKKBRA

Научная статья



ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕМОНТА НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

В. Н. Кузнецова, И. С. Кузнецов**Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет «СибАДИ»**г. Омск, Россия,**dissovetibadi@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3546-0894>**mrprogamer111@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6524-4976>***ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. Нефтяная отрасль является ключевой составляющей экономики Российской Федерации. Для хранения нефти используется большое количество резервуаров, каждый из которых нуждается в своевременном ремонте. По результатам исследований практически половина аварий вызвана сверхнормативной неравномерной осадкой резервуара, которая вызывает преждевременный выход их из строя. Для восстановления исправного и работоспособного состояния резервуаров необходимо проведение ремонтных работ, качество и эффективность которых зависит от используемого ремонтного оборудования. Актуальной задачей является обоснование выбора оборудования для ремонта резервуаров, в частности стальных резервуаров вертикального типа.

Методы и материалы. Был проведен обзор различных типов резервуаров, который показал, что наибольшее распространение получили вертикальные стальные резервуары. Одним из способов устранения неравномерной осадки резервуара является его подъем при помощи домкратов и формирование нового основания с устранением наклона.

Результаты. Был рассмотрен процесс ремонта стального вертикального резервуара объемом 10000 м³. Получены значения массы резервуара при заполнении жидкими нефтепродуктами на 1% от максимальной заполняемости. Получено значение нагрузки на одно подъемное устройство. Выполнено проектирование конструкции устройства и расчет на прочность в программе Компас 3D.

Заключение. Был определен наиболее эффективный тип подъемника из существующих, выполнена модернизация его конструкции. Расчет на прочность показал, что гидравлический подъемник работоспособен при заданных условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ремонт резервуара, подъемное устройство, резервуар стальной, способ подъема резервуара, хранение нефтепродуктов.

БЛАГОДАРНОСТИ: автор благодарит за поддержку научных исследований коллектив кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» ФГБОУ ВО «СибАДИ», а также рецензентов статьи.

Статья поступила в редакцию 13.11.2022; одобрена после рецензирования 29.11.2022; принята к публикации 19.12.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Кузнецова В. Н., Кузнецов И. С. Выбор параметров оборудования для ремонта нефтяных резервуаров в условиях севера // *Вестник СибАДИ*. 2022. Т.19, № 6 (88). С. 790-799. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-790-799>

© Кузнецова В. Н., Кузнецов И. С., 2022



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-790-799>

EDN: PKKBRA

SELECTION OF EQUIPMENT FOR OIL TANK REPAIR IN NORTHERN CONDITIONS

Victoriya N. Kuznetsova, Ilya S. Kuznetsov*

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)

Russia, Omsk

dissovetsibadi@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3546-0894>

mrprogamer111@gmail.com, <http://orcid.org/>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The oil industry is a key component of the economy of the Russian Federation. A large number of tanks are used to store oil, each of which needs timely repair. According to the results of some research, almost half of the accidents are caused by excess uneven settlement of the tank, which causes premature failure. To restore the serviceable and operable condition of the tanks, it is necessary to carry out repair work, the quality and efficiency of which depends on the repair equipment used. An urgent task is to justify the choice of equipment for the repair of tanks, in particular, steel tanks of a vertical type.

Methods and materials. A review of the different types of tanks was carried out and showed that vertical steel tanks are the most widely used. One of the ways to eliminate the uneven settlement of the tank is to raise it with the help of jacks and form a new base with the elimination of the slope.

Results. The repair process for a 10,000 m³ steel vertical tank was considered. The values of the mass of the tank were obtained when filling with liquid petroleum products at 1% of the maximum occupancy. The value of the load on one lifting device is obtained. The design of the device structure and the strength calculation in the Compass 3D program were completed.

Conclusions. The most efficient type of the lift from the existing ones was determined, and its design was modernized. The strength calculation showed that the hydraulic lift is efficient under the given conditions.

KEYWORDS: tank repair, lifting device, steel tank, tank lifting method, oil storage.

ACKNOWLEDGEMENTS: The author thanks for the support of scientific research the team of the department «Operation of oil and gas and construction equipment» of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «SibADI», as well as the reviewers of the article.

The article was submitted 13.11.2022; approved after reviewing 29.11.2022; accepted for publication 19.12.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Kuznetsova Victoriya N., Kuznetsov Ilya S. Selection of equipment for oil tank repair in northern conditions. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (6): 790-799. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-790-799>

© Kuznetsova V. N., Kuznetsov I. S., 2022



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Для поддержания резервуаров в технически исправном состоянии проводится планово-предупредительное техническое обслуживание, включающее осмотр, текущий и капитальный ремонт самого резервуара и всего оборудования резервуара. Ремонт резервуарных цистерн является неотъемлемой частью планового ремонта и реконструкции объектов. Объем работ включен в раздел «Резервуарные парки» комплексных программ диагностики, технического перевооружения, реконструкции и капитального ремонта объектов магистральных нефтепроводов [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Выбор емкости резервуара для его ремонта основывается на оценке его технического состояния.

Данными для анализа и оценки технического состояния емкости резервуара являются [7, 8]:

- результаты диагностики;
- информация о ранее обнаруженных и исправленных дефектах;
- данные технического паспорта емкости резервуара.

В связи с фактическим расположением производственных объектов, с учетом тенденции

развития производства нефтепродуктов на Крайнем Севере и необходимости увеличения объемов хранения, требуется строительство, а следовательно, дальнейшая эксплуатация и ремонт крупногабаритных резервуаров на участках, представленных неблагоприятными для строительства резервуаров илистыми, вечномёрзлыми, неоднородными грунтами, довольно часто возникает вопрос о ремонте оснований и фундаментов [9, 10, 11, 12, 13, 14].

По данным исследования Г. Г. Васильева и А. П. Сальникова, выделено несколько возможных причин разрушения нефтяных резервуаров. Основные причины представлены в виде диаграммы на рисунке 1 [15, 16, 17].

Исходя из полученных результатов видно, что основными причинами разрушения резервуаров являются сверхнормативные осадки основания, поэтому повышение надежности оснований резервуаров в целях снижения аварийных ситуаций является актуальной задачей.

Существует несколько типов резервуаров для хранения жидких нефтепродуктов. Подземные хранилища устраивают в естественных или искусственных полостях под землей.

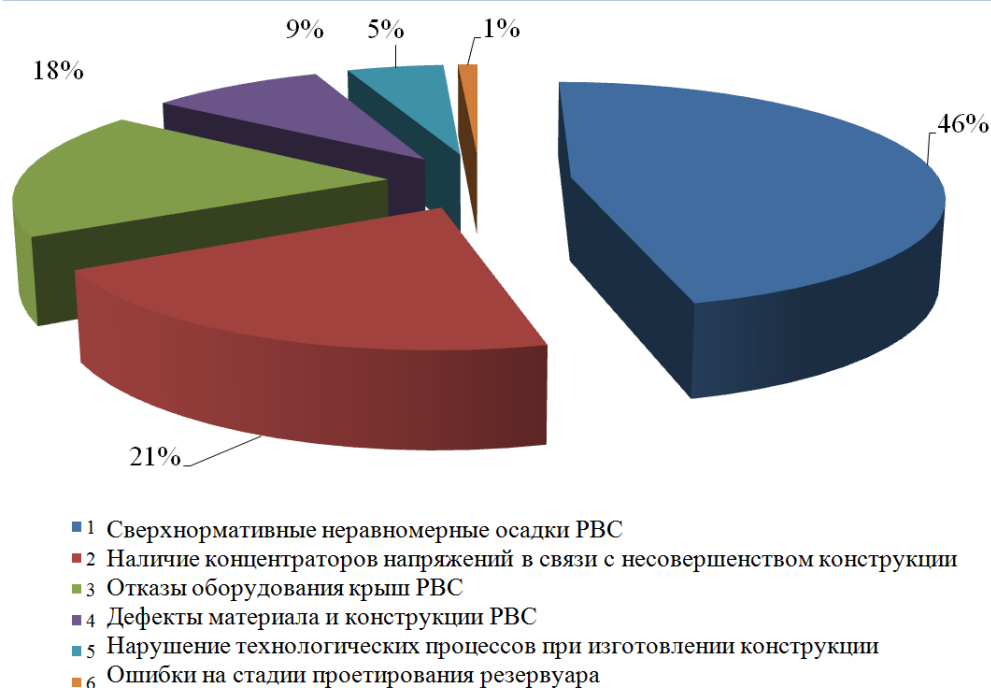


Рисунок 1 – Основные причины разрушения резервуаров
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Main causes of tank failures
Source: compiled by the authors.

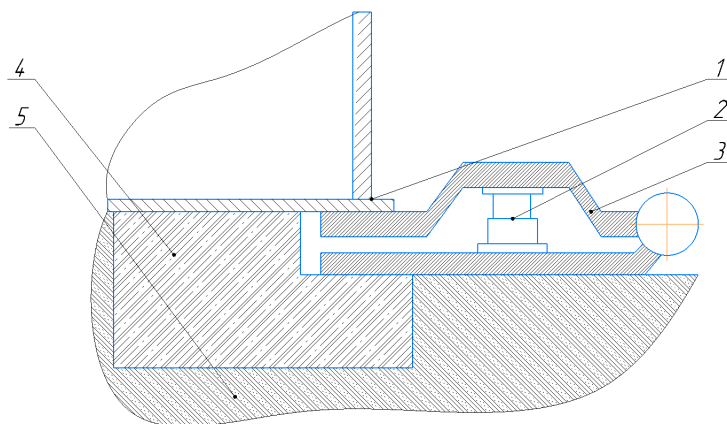


Рисунок 3 – Гидравлический подъемник типа «ножницы»:
1 – резервуар; 2 – гидравлический домкрат; 3 – подъемное устройство;
4 – фундамент резервуара; 5 – грунтовое основание
Источник: составлено авторами.

Figure3– Scissor-type hydraulic lift
1 – storage tank; 2 – hydraulic jack; 3 – lifting device;
4 – reservoir foundation; 5 – ground base
Source: compiled by the authors.

Также существуют горизонтальные хранилища небольшого объема (до 100 м³). Среди наземных резервуаров большой емкости выделяют железобетонные и вертикальные стальные резервуары. Их емкость может составлять 10–100 тыс. м³. Исходя из преимуществ и недостатков различных типов резервуаров и анализируя фактическое применение, большинство резервуаров на предприятиях нефтегазовой отрасли, в том числе в северных районах, составляют вертикальные стальные резервуары (рисунок 2).



Рисунок 2 – Резервуар вертикальный стальной
Источник: <https://snmash.ru/production/rezervuarnoe-oborudovanie/rezervuary-rulonnoego-tipa-rvs.html>

Figure 2 – Vertical steel tank
Source: <https://snmash.ru/production/rezervuarnoe-oborudovanie/rezervuary-rulonnoego-tipa-rvs.html>

Чаще всего резервуары возводят на площадках, представленных глинистыми и суглинистыми грунтами, либо скальными породами.

Выбор типа основания имеет важное значение в обеспечении устойчивости и долговечности всей конструкции. Правильная подготовка основания и фундамента обеспечит снижение воздействия осадков и грунтовых вод, а значит, облегчит последующую эксплуатацию и продлит срок между выполнением ремонтных работ [18, 19, 20, 21, 22].

В практике строительства резервуаров в нашей стране наиболее экономичным, а значит распространенным, является строительство на естественном основании. Для этого выполняют планировочные работы на площадке и устраивают песчаную или грунтовую подушку. Данный тип основания имеет один существенный недостаток. Спустя время основание резервуара имеет неравномерную осадку дна или же крен. Данный дефект влияет на концентрацию напряжений в местах сварных соединений, а также создается сверхнормативный момент в месте соединения дна и стенки резервуара, что во многом связано со слабой несущей способностью грунта. Это было отмечено в исследованиях В. Б. Галеева, Р. Бэллаи, К. Кавано [23, 24, 25, 26]. Также анализ причин разрушения резервуаров проведен М. В. Терентьевой, по данным которого причиной разрушения стального вертикального резервуара (РВС) в 35% случаев являлась неравномерная осадка основания [27].

Исходя из вышесказанного видно, что необходимо исследовать ремонт дефектов, связанных с осадками резервуаров.

Поскольку неравномерные осадки оснований резервуаров зачастую являются причиной аварий РВС, далее будет рассмотрен процесс устранения данного дефекта. Одним из устройств, применяемых при выполнении ремонтных работ, является гидравлический домкрат для подъема резервуара. Существует способ подъема резервуара, при котором выполняется подкоп грунта и в образованную нишу устанавливается домкрат. К недостаткам такого способа относят большой объем земляных работ, которые трудновыполнимы в условиях Крайнего Севера, а также невозможность восстановить фундамент с приданием изначальной прочности. Подъем резервуара возможно выполнять и другим способом. К боковой поверхности резервуара приваривают инвентарные ребра жесткости. Для выполнения подъема к ребрам жесткости прикрепляют стойку совместно с гидравлическим домкратом. Недостатком данного способа является необходимость приварки ребер жесткости и последующего их удаления по завершении работ.

Ранее отечественными специалистами нефтегазовой отрасли был разработан способ¹ подъема нефтяных резервуаров при помощи гидравлического подъемника ножничной конструкции (рисунок 3). Основными достоинствами данного способа по сравнению с другими являются: незначительное вмешательство, целостность фундамента резервуара, а также небольшой объем земляных работ; возможность выполнения ремонтных работ без необходимости опорожнения и очистки резервуара.

Для устранения наклона либо просадки резервуара используют некоторое количество устройств данного типа, располагая их вокруг ремонтируемого резервуара. Рассмотрим процесс выполнения ремонта резервуара номинальным объемом 10000 м³ с применением гидравлического подъемника данного типа. При капитальном ремонте стальных резервуаров емкость требуется полностью вывести из эксплуатации. Ее в обязательном порядке опорожняют, проводят дегазацию и очищают от коррозии. В рамках проведения работ оценивают техническое состояние всех элементов

конструкции – от стенок до днища и кровли. В регламент включают устранение дефектов и исправление положения резервуара, если его осадка отклоняется от нормативов [24, 25]. Осуществляют подъем резервуара гидравлическим подъемником типа «ножницы» на заданную высоту. После этого пространство между основанием и днищем резервуара заполняют грунтовой смесью и выравнивают его для устранения наклона резервуара. Затем резервуар опускают, извлекают подъемные устройства, а образованные ниши заполняют грунтовой смесью.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для определения количества гидравлических подъемников и нагрузки, приходящейся на них, необходимо выполнить расчет по ниже приведенной методике.

Исходные данные для расчёта представлены в таблице 1.

Из технических данных известно, что масса резервуара $m_p = 234346$ кг, а его диаметр $D = 34,20$ м. Зададимся условием, что РВС заполнен на 1% от номинального объема. Исходя из расчетной высоты налива, равной 11,20 м, высота столба при десятипроцентной наполненности будет составлять 0,11 м. Тогда объем нефти будет составлять $V_p = 101$ м³. Найдем массу нефти m_n при 1% наполненности резервуара по формуле

$$m_n = V_p \cdot \rho, \quad (1)$$

где ρ – плотность нефти, принимается 0,889 т/м³.

$$m_n = 101 \cdot 0,889 = 89,8 \text{ т.}$$

Таким образом, суммарная масса резервуара, наполненного нефтью до заданной величины, будет составлять $M = 324146$ кг.

Сила тяжести, действующая на основание резервуара, рассчитывается по формуле (2):

$$F_T = g \cdot M, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

$$F_T = 9,81 \cdot 324146 = 3179872,3 \text{ Н.}$$

Полученную величину целесообразно перевести в кН. Получим $F_m = 3179,9$ кН.

¹ Пат. № 2196210: МПК E04H 7/06: Устройство для ремонта резервуара / Т.А. Кулибаев, Ф.А. Мамонов, Е.А. Аймурзаев, В.В. Попов; ИПТЭР. № 2000101635/03; заявл. 20.01.2000; опубл. 10.01.2003.

Таблица 1
Техническая характеристика РВС-10000
Источник: составлено авторами.

Table 1
Technical specification of RVS-10000
Source: compiled by the authors.

Наименование	Величина
Объем, м ³	10000
Высота налива, м	11,2
Диаметр, м	34,2
Толщина стенки, мм	10
Масса, кг	234346

Таблица 2
Параметры расчета на прочность
Источник: составлено авторами.

Table 2
Strength calculation parameters
Source: compiled by the authors.

Наименование	Величина
Марка стали	Зкп
Предел текучести, МПа	235
Плотность, кг/м ³	7800
Предел прочности при сжатии, МПа	410

В соответствии с типовой технологией подъема резервуара стойки для подъема резервуара привариваются с шагом в 4 м, соответственно домкраты устанавливаются с тем же шагом, при модернизации технологии прием такой же шаг установки устройств типа «ножницы».

Для выбранного резервуара количество домкратов, исходя из периметра резервуара, который равен 107,44 м, принимаем количество домкратов, равное 27 шт. Сила, действующая на одно приспособление, будет составлять 117,77 кН, что составляет ~ 12000 кг.

Примем, что оптимальным вариантом по грузоподъемности и стоимости будет домкрат грузоподъемностью 15000 кг, который представлен в патенте RU2165039C1². Данный вариант гидравлического домкрата обеспечивает удержание груза на заданной высоте и повышение надежности при эксплуатации.

Была спроектирована конструкция подъемного устройства при помощи системы САПР Компас 3D (рисунок 4).

После проектирования конструкции был выполнен прочностный анализ с использованием встроенной утилиты APMFEM. Параметры прочностного расчета представлены в таблице 2. При построении были установлены следующие параметры сетки конечных элементов: 4-узловые тетраэдры с длиной стороны элемента, равной 10 мм. Коэффициент сгущения равен единице. Для расчетов простых конструкций такие параметры являются оптимальными, в связи с тем, что использование 10-узловых тетраэдров и меньшей длины конечных элементов практически не повышает точность, при этом затрачивается существенно больше вычислительных ресурсов. Точки закрепления выбраны таким образом, чтобы соответствовать условию, при котором перемещение механизма во время его работы равно нулю. Приложение нагрузки для верхней части устройства соответствует реакции от поднимаемого резервуара, а в нижней части устройства – реакции опоры от передачи нагрузки через гидравлический домкрат (рисунок 5).

² Пат. № 2165039: МПК F15B15/26: Гидравлический домкрат / В.И. Феллер; Научно-исследовательский институт измерительных приборов. № 99118629/06 ; заявл. 26.08.1999; опубл. 10.04.2001.

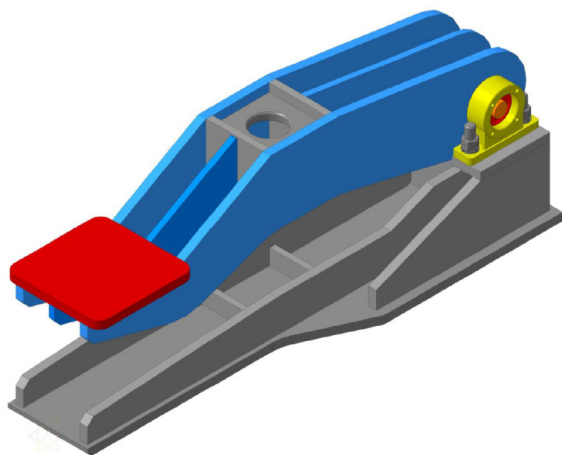


Рисунок 4 – Гидравлический подъемник типа «ножницы»
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Scissor-type hydraulic lift
Source: compiled by the authors.

РЕЗУЛЬТАТЫ

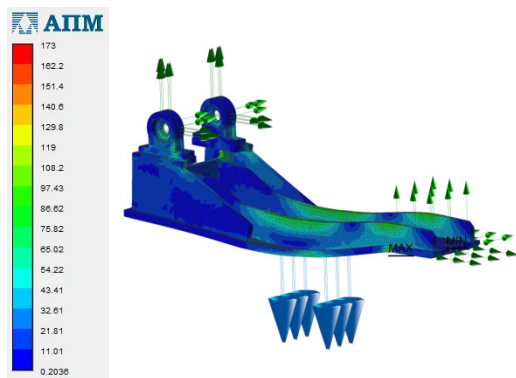
Расчет на прочность выполнялся для модели нижней и верхней части подъемного устройства отдельно. Результаты статического расчета на прочность методом конечных элементов представлены на рисунке 5.

Анализ полученных результатов показывает следующее. Наибольшее напряжение в

верхней части подъемного устройства возникает в месте изгиба вблизи штока гидравлического домкрата, а также в крайней его части в месте приложения нагрузки. Для нижней части подъемного устройства наибольшие напряжения проявляются рядом с основанием домкрата. Максимальное значение напряжения нижней части подъемного устройства достигает 173 МПа. Для верхней части подъемного устройства оно составляет 236 МПа.

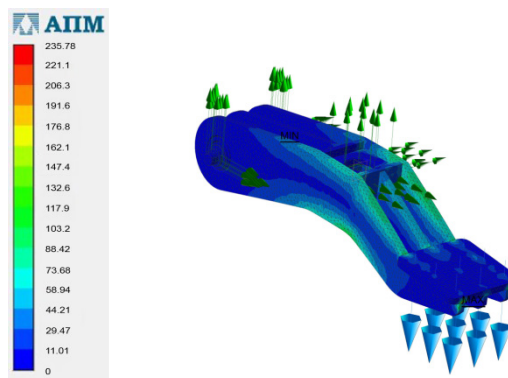
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для хранения жидких нефтепродуктов широкое распространение получили стальные резервуары. По мере их эксплуатации необходимо выполнять ремонтные работы, чтобы поддерживать их исправное состояние и не допускать аварий. Гидравлический домкрат является одним из устройств, необходимых для выполнения работ. Проведенное исследование позволило выявить наиболее эффективный тип такого подъемника и усовершенствовать его конструкцию. Для расчета на прочность была задана нагрузка выше расчетной – 16 кН. При этом максимальное напряжение по пределу текучести составило 236 МПа, что говорит о возможности использования устройства данного типа при ремонте стального резервуара объемом 10000 м³.



а

Рисунок 5 – Эквивалентное напряжение по Мизесу:
а – нижняя часть устройства;
б – верхняя часть устройства
Источник: составлено авторами.



б

Figure 5 – Equivalent voltage according to Mises:
а – the bottom of the unit;
б – upper part of the unit
Source: compiled by the authors.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алиев Р. А. Сооружение и ремонт газонепроводов, газохранилищ и нефтебаз. М.: Недра, 1987. 271 с.
2. Гайсина Л. М. Архитектура социальных приоритетов в российских компаниях нефтегазового комплекса // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. 2011. Т. 6. С. 54–60.
3. Байбурин Р.А. Экспертная система в обслуживании и ремонте резервуаров и резервуарных парков // Совершенствование проектирования, строительства и эксплуатации металлических резервуаров: материалы Междунар. конф. Уфа: ТРАНСТЭК, 2005. С. 88-90.
4. Golik, V. V. Zemenkova, M.Yu. Zemenkov, Y.D. Ponomareva, T.G. Thermophysical modeling of processes in the soil foundations of oil pipelines in the arctic and on the shelf. Neftyanoe Khozyaystvo – Oil Industry this link is disabled, 2021, 2021(6), DOI: 10.24887/0028-2448-2021-6-102-107.
5. Fawaz S. Al-Anzi, Khaled Al-Zamel. Efficient Maintenance Scheduler for Near Optimum Utilization of Oil Tanks // American Journal of Environmental Sciences. 2005. Vol 1, Iss 4, P. 254-258.
6. Shu Li, Xiang-Jun Peng, Dong-Ping Yao, Lai-Gen Luo, Feng Wang. The Design of Modularized Oil Tank Measurement and Control Intelligent Unit // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2013. Vol 5, Iss 22, P. 5286-5292.
7. Nguidjol A., Dikwa J., Mevaa L., Danwe R. An Automatic Tool for the Optimisation of the Design and Realization of a Raw Palm oil Storage Tank // International Journal of Engineering and Technology. 2010. Vol 2, Iss 6, Pp.482-487.
8. Mahmoudi M., Roshan A., Mirdrikvand M. Boilover in Storage Tanks: Occurrence, Consequences and Predictions // American Journal of Oil and Chemical Technologies. 2013. Vol 01, Iss 02, P. 8-13.
9. Некрасов В.О., Земенков Ю.Д. Перспективные методы повышения эксплуатационных свойств нефтяных резервуаров // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 6 (34). 2012. С. 24-26.
10. Рябинин И. А. Надежность и безопасность сложных систем. СПб.: Политехника. 2000. 248 с.
11. Ханухов Х. М. Анализ причин аварий стальных резервуаров и повышение безопасности их эксплуатации // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2003. № 10. С. 49–52.
12. Акимов В. А., Лапин В. Л., Попов В. М. Надежность технических систем и техногенный риск. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. 367 с.
13. Галюк В.А. Эксплуатация и ремонт резервуаров большой вместимости. М.: ВНИИОЭНГ, 1987. 61 с.
14. Барская Г. Б. Анализ причин неравномерных осадков резервуаров в Западной Сибири / Г. Б. Барская // Известия вузов. Нефть и газ. 2004. № 23. С. 36-38.
15. Васильев Г. Г. Анализ причин аварий вертикальных стальных резервуаров / Г. Г. Васильев, А. П. Сальников // Нефтяное хозяйство. 2015. № 2. С. 106-108.
16. Димов Л. А. Проектирование плитных фундаментов резервуаров для жидких углеводородов // Газовая промышленность. 2016. № 1. С. 114-117.
17. Егоров Е. А. Особенности работы и инженерный расчет вертикальных цилиндрических резервуаров / Е. А. Егоров // Нефтяное хозяйство. 1977. № 12. С. 48-59.
18. Коновалов П. А. Предельные значения средних и неравномерных осадков металлических резервуаров / П. А. Коновалов, Ю. К. Иванов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1985. № 5. С. 27.
19. Иванов Ю.К. Основания и фундаменты резервуаров / Ю. К. Иванов, П. А. Коновалов, Р. А. Мангушев, С. Н. Сотников. Москва: Стройиздат. 1989. 95 с.
20. Чепур П. В. Влияние параметров неравномерной осадки на возникновение предельных состояний в резервуаре/ П. В. Чепур, А. А. Тарасенко // Фундаментальные исследования. 2014. № 8 (7). С. 1560-1564.
21. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / под ред. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.
22. Evaluation en Vue de la Determination de la Grandeur des Compartiments Coupe-Feu. Note Explicative de Protection Incendie. (2007). VKF/AEAI, doc. 115-03f.
23. Галеев В. Б. Аварии резервуаров и способы их предупреждения / В. Б. Галеев, Д. Ю. Гарин, Ю. А. Фролов. Уфа, 2004. 164 с.
24. Галеев В. Б. Устройство оснований резервуаров, сооружаемых на слабонесущих грунтах / В. Б. Галеев, В. В. Любушкин, Н. И. Коновалов. Москва: ВНИИОЭНГ. 1989. 45 с.
25. Галеев В. Б. Проектирование оснований резервуаров на слабых водонасыщенных грунтах // Нефтепромысловое строительство. Москва: ВНИИОЭНГ. 1976. С. 13-15.
26. Bell R. A., Iwakiri J. Settlement comparison used in tank failure study // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 1980. Vol. 106. P. 153–169.
27. Андронов, И. Н. Компьютерное моделирование конструкции плитного фундамента резервуара для нефти и нефтепродуктов с использованием арматуры из материалов с памятью / И. Н. Андронов, М. В. Терентьева // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2018. № 3. С. 46-54.

REFERENCES

1. Aliev R. A. *Sooruzhenie i remont gazonefteprovodov, gazokhranilishh i neftebaz*. [Construction and repair of gas and oil pipelines, gas storages and oil depots]. Moscow: Nedra, 1987: 271. (In Russ.)
2. Gaisina L. M. Architecture of social priorities in Russian oil and gas companies [Arhitektura social'nyh

prioritetov v rossijskikh kompanijah neftegazovogo kompleksa]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Serija: Gumanitarnye i social'nye nauki*. 2011; V. 6: 54–60. (In Russ.)

3. Baiburin R. A. Jekspertnaja sistema v obsluzhivanii i remonte rezervuarov i rezervuarnyh parkov [Expert system in the maintenance and repair of tanks and tank farms]. *Sovershenstvovanie proektirovanija, stroitel'stva i jekspluatacii metallicheskih rezervuarov: materialy Mezhdunar. konf.* Ufa: TRANST. 2005: 88-90. (In Russ.)

4. Golik V. V. Zemenkova M. Yu. Zemenkov Y. D. Ponomareva T. G. Thermophysical modeling of processes in the soil foundations of oil pipelines in the arctic and on the shelf. *Neftyanoe Khozyaystvo – Oil Industry* this link is disabled. 2021; 6: 102-107. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-6-102-107.

5. Fawaz S. Al-Anzi, Khaled Al-Zamel. Efficient Maintenance Scheduler for Near Optimum Utilization of Oil Tanks. *American Journal of Environmental Sciences*. 2005; Vol 1, Iss 4: 254-258.

6. Shu Li, Xiang-Jun Peng, Dong-Ping Yao, Lai-Gen Luo, Feng Wang. The Design of Modularized Oil Tank Measurement and Control Intelligent Unit. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2013; Vol 5, Iss 22: 5286-5292.

7. Nguidjol A., Dikwa J., Mevaa L., Danwe R. An Automatic Tool for the Optimization of the Design and Realization of a Raw Palm oil Storage Tank. *International Journal of Engineering and Technology*. 2010; Vol 2, Iss 6: 482-487.

8. Mahmoudi M., Roshan A., Mirdrikvand M. Boilover in Storage Tanks: Occurrence, Consequences and Predictions. *American Journal of Oil and Chemical Technologies*. 2013; Vol 01, Iss 02: 8-13.

9. Nekrasov V. O., Zemenkov Yu. D. Perspektivnye metody povyshenija jekspluacionnyh svojstv nefjanyh rezervuarov [Perspective methods for improving the operational properties of oil reservoirs]. *Truboprovodnyj transport: teorija i praktika*. 2012; 6 (34): 24-26. (In Russ.)

10. Ryabinin I. A. *Nadezhnost' i bezopasnost' slozhnyh sistem* [Reliability and security of complex systems]. St. Petersburg: Polytechnic. 2000. 248 p. (In Russ.)

11. Khanukhov Kh. M. Analiz prichin avarij stal'nyh rezervuarov i povyshenie bezopasnosti ih jekspluatacii [Analysis of the causes of accidents in steel tanks and improving the safety of their operation]. *Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*. 2003; 10: 49–52. (In Russ.)

12. Akimov V. A., Lapin V. L., Popov V. M. Nadezhnost' tehnikeskikh sistem i tehnogennyj risk. [Reliability of technical systems and technogenic risk]. Moscow: CJSC FID "Business Express". 2002: 367. (In Russ.)

13. Galyuk V. A. *Jekspluatacija i remont rezervuarov bol'shoj vmestimosti* [Operation and repair of large-capacity tanks]. Moscow: VNIIOENG, 1987: 61. (In Russ.)

14. Barskaya G. B. [Analysis of the causes of uneven sedimentation of reservoirs in Western Siberia]. *Izvestiya vuzov*. 2004; 23: 36-38. (In Russ.)

15. Vasiliev G. G., Salnikov A. P. Analiz prichin avarij vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov [Analysis of the causes of accidents in vertical steel tanks]. *Neftjanoe hozjajstvo*. 2015; 2: 106-108. (In Russ.)

16. Dimov L. A. Proektirovanie plitnyh fundamentov rezervuarov dlja zhidkikh uglevodorodov [Design of slab foundations of reservoirs for liquid hydrocarbons]. *Gazovaja promyshlennost'*. 2016; 1: 114-117. (In Russ.)

17. Egorov E. A. Osobennosti raboty i inzhenernyj raschet vertikal'nyh cilindricheskikh rezervuarov [Features of work and engineering calculation of vertical cylindrical tanks]. *Neftjanoe hozjajstvo*. 1977; 12: 48-59. (In Russ.)

18. Konovalov P. A., Ivanov Yu. K. Predel'nye znachenija srednih i neravnomernyh osadok metallicheskih rezervuarov [Limiting values of average and uneven sedimentation of metal tanks]. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*. 1985; 5: 27. (In Russ.)

19. Ivanov Yu. K., Konovalov P. A., Mangushev R. A., Sotnikov S. N. [Foundations and foundations of reservoirs]. Moscow: Stroyizdat. 1989: 95. (In Russ.)

20. Chepur P. V., Tarasenko A. A. [Influence of non-uniform settlement parameters on the occurrence of limit states in a reservoir]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014; 8 (7):1560-1564. (In Russ.)

21. *Svarnye konstrukcii. Mehanika razrushenija i kriterii rabotosposobnosti* [Welded structures. Fracture mechanics and performance criteria] / ed. B.E. Paton. Moscow: Mashinostroenie, 1996: 576. (In Russ.)

22. Evaluation en Vue de la Determination de la Grandeur des Compartiments Coupe-Feu. Note Explicative de Protection Incendie. (2007). VKF/AEAI, doc. 115-03f.

23. Galeev V. B., Garin D. Yu., Frolov Yu. A. [Tank accidents and ways to prevent them]. Ufa, 2004: 164. (In Russ.)

24. Galeev V. B., V. V. Lyubushkin, N. I. Konovalov *Ustrojstvo osnovanij rezervuarov, sooruzhaemyh na slabonesushhih gruntah* [Construction of the foundations of tanks constructed on weakly bearing soils]. Moscow: VNIIOENG. 1989. 45 p. (In Russ.)

25. Galeev V. B. [Design of tank foundations on weak water-saturated soils]. *Neftpromyslovoe stroitel'stvo*. Moscow: VNIIOENG. 1976:13-15. (In Russ.)

26. Bell R. A., Iwakiri J. Settlement comparison used in tank failure study. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 1980; 106: 153–169.

27. Andronov I. N., Terentyeva M. V. Komp'yuternoe modelirovanie konstrukcii plitnogo fundamenta rezervuara dlja nefi i nefteproduktov s ispol'zovaniem armatury iz materialov s pamjat'ju [Computer modeling of the design of the slab foundation of a tank for oil and oil products using reinforcement from materials with memory]. *Construction of oil and gas wells on land and at sea*. 2018; 3: 46-54. (In Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Кузнецова В. Н. Руководство темой исследования. Анализ состояния вопроса и существующих решений.

Кузнецов И. С. Разработка конструкции и методики. Выполнение расчетов и чертежей. Оформление статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Victoriya N. Kuznetsova Research topic management. Analysis of the issue and current solutions.

Ilya S. Kuznetsov Development of design and methodology. Performing calculations and drawings. Article layout.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Виктория Николаевна Кузнецова – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники».

Илья Сергеевич Кузнецов – преподаватель кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники».

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victoriya N. Kuznetsova – Dr. of Sci., Professor, Operation of Oil and Gas and Construction Machinery Department.

Ilya S. Kuznetsov – lecturer, Operation of Oil and Gas and Construction Machinery Department.