

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-5-109-117

***Вагазова Д.Д., Орефьева К.К., Тляшева Р.Р.**

Уфимский государственный нефтяной технический университет,

*E-mail: kasintsevadaria@mail.ru

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕНКИ РЕЗЕРВУАРА В ПРОЦЕССЕ РУЛОНИРОВАНИЯ

Аннотация. Изготовление резервуаров методом рулонирования представляет собой один из передовых промышленных способов, позволяющий значительно сократить время монтажа. При этом стенки, днище и крыша резервуара поставляются на строительную площадку в виде рулонов, что минимизирует объём сварочных работ на месте и повышает качество сварных швов благодаря заводской двусторонней автоматической сварке. Однако, наличие большого количества сварных швов, особенно в случае габаритных резервуаров, может привести к концентрации напряжений, что повышает риск развития дефектов и аварий.

Процесс рулонирования, сопровождающийся многократным упругопластическим деформированием, оказывает значительное воздействие на стенки ёмкости, особенно в местах сварных соединений. Классический расчёт такого влияния на стенки резервуара затруднён, поэтому для исследования используются цифровые модели. В данной статье представлено моделирование напряжённо-деформированного состояния стенки резервуара с учётом процесса рулонирования, проведённое на образце обечайки размером 405х300х2мм из стали марки Ст3сп. Выбор стали Ст3сп, являющейся широко распространённой конструкционной углеродистой сталью, обусловлен ее свойствами, подходящими для условий эксплуатации резервуара, такими как расчетное давление, температура, химическая среда и коррозионная стойкость. Исследование сосредоточено на определении характеристик напряженно-деформированного состояния стенки резервуара, возникающих в результате процесса рулонирования, что имеет важное значение для обеспечения безопасной и эффективной работы резервуара на протяжении всего его срока службы.

Получены результаты напряженно-деформированного состояния стенки резервуара в процессе рулонирования, которые указывают на важность учета остаточных напряжений при расчете остаточного ресурса резервуара.

Ключевые слова: резервуар, рулонирование, ABAQUS, метод конечных элементов, моделирование, напряженно-деформированное состояние.

Введение. Вертикальные стальные резервуары (РВС) являются незаменимыми элементами в цепочке хранения и распределения различных жидкостей, включая нефть, нефтепродукты, химические вещества. Их роль в современных промышленных и коммерческих процессах трудно переоценить, так как они обеспечивают как безопасность, так и эффективное управление запасами.

Различные категории жидкостей требуют специализированных вертикальных резервуаров, которые предназначены для работы в определённых условиях. Существует множество разновидностей таких резервуаров:

– вертикальные цилиндрические резервуары с фиксированной крышей – это резервуар, имеющий прочную конструкцию. Данные резервуары устанавливаются на опасных производственных объектах для хранения легковоспламеняющихся жидкостей. Объём таких резервуаров может варьироваться от нескольких сотен до двадцати тысяч кубических метров для легковоспламеняющихся веществ и до пятидесяти тысяч кубических метров для газов. Такие резервуары могут

быть сделаны из коррозионно-стойких материалов, что увеличивает их срок службы.

– резервуары с плавающей крышей представляют собой конструкции, у которых крыша "плавает" на поверхности сохраняемой жидкости. Существенное уменьшение риска формирования взрывоопасной атмосферы и снижение объёмов испарения обеспечиваются данным конструктивным решением. Вместимость таких резервуаров может достигать ста двадцати тысяч кубических метров. Они идеально подходят для хранения нефти и тяжёлых нефтяных продуктов, что делает их популярными в нефтедобывающей промышленности.

Каждый вертикальный резервуар состоит из нескольких ключевых компонентов. Такие как:

– днище, которое производится из толстых металлов (до 8 мм) и формируется в виде конусообразной или плоской поверхности. Днище размещается на специальном фундаменте, который часто состоит из песчаной подушки с уклоном для предотвращения скопления воды. Это также обеспечивает равномерное распределение нагрузки.

– корпус – это основная часть резервуара, которая может иметь несколько поясов. Каждый пояс состоит из стальных листов, которые могут быть различной толщины. Чаще всего они имеют одинаковую толщину, но для повышения прочности нижние пояса могут быть усилены, так как они испытывают наибольшее давление.

– крыша, в зависимости от типа резервуара, может быть плоской, конической или сферической. Плоские и конические крыши зачастую рассчитаны на внутреннее давление до 2000 Па и вакуум до 250 Па. Сферические крыши могут выдерживать более высокие давления (до 0,02 МПа) и вакуум (до 0,002 МПа), что делает их предпочтительными в некоторых областях.

В Российской Федерации активно применяется индустриальный метод строительства резервуаров, который приводит к преобладанию рулонных конструкций в отечественном резервуарном парке. Долговечность эксплуатации ряда резервуаров, которая может достигать 30 лет, подтверждает высокую надежность и эффективность выбранного подхода к строительству металлоконструкций. Этот аспект играет ключевую роль в обеспечении стабильной работы объектов хранения, а также в минимизации затрат на их обслуживание и ремонт в процессе эксплуатации.

Для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации резервуаров, имеющих класс повышенной опасности, проводится регулярная техническая диагностика, которая позволяет выявить дефекты, способные повлиять на целостность резервуара [1–3]. В случае обнаружения дефектов проводится ремонт или модернизация.

Среди наиболее распространенных дефектов рулонных резервуаров: неровные стыки, отклонения от вертикали, вмятины, нестандартные элементы конструкции.

Индустриальный метод предусматривает изготовление плоских полотнищ стенки резервуара на заводе с последующим сворачиванием в рулон. Процесс сворачивания полотнища вызывает его изгиб, который можно интерпретировать как изгиб упругопластического материала. Относительная деформация зависит от радиуса изгиба, который определяется радиусом барабана, на который наматывается полотнище. Многократные упругопластические деформации, возникающие при сворачивании и развёртывании, особенно заметны вблизи сварных швов из-за неоднородности материала.

Главным недостатком технологии рулонирования является предрасположенность к возникновению различных дефектов, которые могут значительно повлиять на эксплуатационные характеристики резервуара. Особенно критичной

эта проблема становится при низких температурах, как в процессе строительства, так и в ходе эксплуатации. Наличие дефектов может привести к локальной потере герметичности, что в худшем случае может закончиться разрушением резервуара. Пластическая деформация стенки во время развёртывания рулона и монтажа также существенно ухудшает свойства металла, особенно после длительного старения, что дополнительно ставит под угрозу безопасность и надежность конструкции.

Основная несущая конструкция вертикальных цилиндрических резервуаров – цилиндрическая стенка, собранная из отдельных листов. Эти листы располагаются так, что их длинные стороны находятся в горизонтальном положении, образуя горизонтальные ряды, которые называются поясами. Чтобы обеспечить надежность конструкции и устойчивость к гидростатическому давлению, толщина поясов, определяемая расчетами, увеличивается от верхних уровней к нижним [4–6]. Листы в рамках каждого пояса соединяются встык, что способствует прочности соединения и минимизации возможных утечек. Между собой пояса могут соединяться как встык, так и внахлест – выбор метода соединения зависит от проектных решений и эксплуатационных требований. Это важно для обеспечения целостности конструкции и герметичности резервуара, особенно на участках, подверженных большому гидростатическому давлению. Надлежащая технология сборки и качественное соединение листов в поясе играют ключевую роль в прочности и долговечности резервуара в целом.

Недавно широкое применение получили «зубчатые» стыки, которые повышают качество сварных соединений, сокращают сроки строительства и снижают стоимость. Однако, несмотря на преимущества, систематические исследования механических свойств сварных швов после рулонирования не проводились.

Вертикальные стальные резервуары подвергаются различным деформациям на протяжении всего своего жизненного цикла, начиная с этапа производства. Это делает прогнозирование срока их эксплуатации сложной задачей.

Несмотря на многочисленные исследования, проблемы повреждений рулонных резервуаров и их влияние на эксплуатационные свойства остаются актуальными.

В настоящее время для оценки напряжённо-деформированного состояния резервуаров используется безмоментная теория, которая учитывает только кольцевые и меридиональные напряжения. Это ограничивает возможность получить полную картину распределения напряжений в конструкции.

Теория моделирования, подобия и размерностей широко изучается в научной литературе, но продолжает развиваться в современных исследованиях.

Моделирование основывается на принципе подобия, который представляет собой полную математическую аналогию между системами, при которой сохраняется пропорциональность между сходственными переменными. Из-за значительных размеров промышленных резервуаров их изучение и создание цифровых моделей затруднено [7].

Цель исследования – моделирование напряжённо-деформированного состояния стенки резервуара вовремя рулонирования, для получения более полного представления о распределении напряжений и прогнозирования потенциальных повреждений.

Материалы и методы. Для исследования была выбрана стенка резервуара, изготовленная из стали марки СтЗсп. Эта сталь широко применяется в нефтегазовой промышленности благодаря сочетанию прочности и пластичности. Сталь СтЗсп относится к углеродистым конструкционным сталям обыкновенного качества.

Основным компонентом стали является феррит. Для повышения прочности и пластичности в состав стали добавляют углерод, а также примеси, такие как сера, мышьяк, фосфор, медь, хром, марганец, никель и кремний. Содержание фосфора и серы влияет на пластичность и прочность стали. Точный химический состав и технология производства стали СтЗсп определяются необходимыми физическими и химическими свойствами.

Сталь СтЗсп обладает хорошей коррозионной стойкостью и свариваемостью. Она относится к нефлокеночувствительным сталям, то есть не подвержена отпускной хрупкости. Для улучшения свойств стали без изменения её химического состава применяют термическую обработку, которая включает нагрев и последующее охлаждение в жидкой среде. Такая обработка позволяет повысить срок службы изделия, изменить его массу или размеры. Во время термической обработки изменяются механические свойства стали, которая в горячем состоянии легко принимает необходимую форму. Механические характеристики стали СтЗсп представлены в таблице 1.

Таблица 1

Механические свойства СтЗсп

Класс стали	Марка стали	ГОСТ	Механические свойства				
			Е, МПа	σв, МПа	εв	σт, МПа	εт
C255	СтЗсп	14637-89	2,1·10 ⁵	370	0,26	245	0,0032

Прогнозирование срока службы резервуаров проводится как на этапе проектирования, так и во время эксплуатации, следуя требованиям нормативных документов, включая ГОСТ. На стадии проектирования ресурс резервуара определяется выбором оптимальной конструкции и материалов [8].

В процессе эксплуатации резервуар подвергается сложным нагрузкам, обусловленным конструктивными особенностями и внешними факторами (осадка грунта, снеговая нагрузка и др.). Для обеспечения долговечности проводятся периодические диагностические исследования, позволяющие оценить техническое состояние и определить возможность дальнейшей эксплуатации или необходимости ремонта [9-11]. Такой метод диагностического исследования относят к традиционным методам оценки остаточного ресурса.

Во время диагностики резервуар проходит:

- визуальный осмотр стенки, кровли и днища;
- измерение толщины стенки, днища и кровли;
- контроль сварных швов физическим методом;
- механические испытания.

А также для полного сбора информации проводят расчет остаточного ресурса по скорости коррозионного износа, расчет остаточного ресурса по критериям малоциклового усталости.

По итогу на основании полученных результатов технического осмотра и расчетов резервуара составляется заключение, в котором описываются результаты технического осмотра и рекомендации по дальнейшей эксплуатации и ограничения по уровню наполнения. Такой метод диагностического исследования относят к традиционным методам оценки остаточного ресурса.

Традиционные методы оценки остаточного ресурса действительно обладают рядом положительных характеристик, таких как простота расчетов и приемлемая точность результатов. Эти методы обычно основываются на стандартных формулах и процедурах, что позволяет оперативно производить необходимые вычисления, используя доступные данные о состоянии резервуара. При правильном использовании таких методик можно получить достоверную информацию остаточного ресурса.

Один из главных недостатков традиционных методов – это то, что они не учитывают локальные повреждения, неспособность отразить не-

равномерное распределение коррозии или других дефектов. Это может привести к ошибкам при анализе остаточного ресурса резервуара. Поэтому при использовании традиционных методов важно быть очень осторожным и проверять наличие любых подозрительных дефектов [12–15].

ABAQUS – это программа, которая помогает рассчитывать прочность разных конструкций. Она очень популярна в нефтегазовой и нефтехимической отраслях, и используется многими известными компаниями, такими как Shell, BP и Exxon Mobil.

Программа позволяет моделировать, как конструкции ведут себя под разными нагрузками, включая высокие температуры и внешние физические воздействия. Одно из главных её преимуществ – возможность использовать различные модели материалов. Что способствует получить достоверные результаты при расчётах и построении цифровых моделях.

ABAQUS – это мощный инструмент для исследований оборудования нефти и газа, который помогает сделать конструкции более безопасными и эффективными.

Основная часть. В процессе сворачивания полотнища, изначально плоское, подвергается изгибу. Изгиб полотнища при сворачивании можно рассматривать с достаточной степенью точности как чистый изгиб стержня из идеально упругопластического материала с сохранением гипотезы плоских сечений при упругопластическом изгибе [16]. Рассмотрим напряженно-деформированное состояние полотнища в процессе рулонирования. При сворачивании полотнища в рулон относительная деформация крайних волокон определяется радиусом изгиба. Радиус изгиба полотнища определяется радиусом барабана, на который наматывается полотнище. Рассмотрим участок полотнища, подвергаемого сворачиванию. Процесс сворачивания полотнища в рулон будем рассматривать как чистый изгиб (рис. 1).

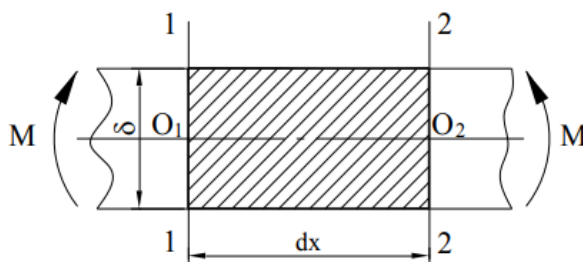


Рис. 1. Участок полотнища, подвергаемый сворачиванию

1-1, 2-2 – бесконечно близкие друг к другу сечения, O_1O_2 – отрезок, принадлежащий нейтральному слою, δ – толщина полотнища, M – изгибающий момент

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние полотнища, свернутого в рулон радиуса $R_{св}$. Для простоты примем толщину полотнища постоянной (δ). $d\alpha$ – угол между бесконечно близкими сечениями 1-1 и 2-2 свернутого в рулон полотнища. z – расстояние от нейтрального слоя до рассматриваемого волокна. AB – удлиненное волокно при изгибе.

Таким образом, имеем:

$$O_1O_2 = dx = \rho d\alpha,$$

$$AB = (R_{св} + z)d\alpha.$$

Абсолютное удлинение волокна:

$$\Delta l = (R_{св} + z)d\alpha - R_{св}d\alpha = zd\alpha \quad (1)$$

Относительное удлинение волокна:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{zd\alpha}{R_{св}d\alpha} = \frac{z}{R_{св}} \quad (2)$$

Следовательно, относительная деформация крайних волокон полотнища при сворачивании равна:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{2R_{св}} \quad (3)$$

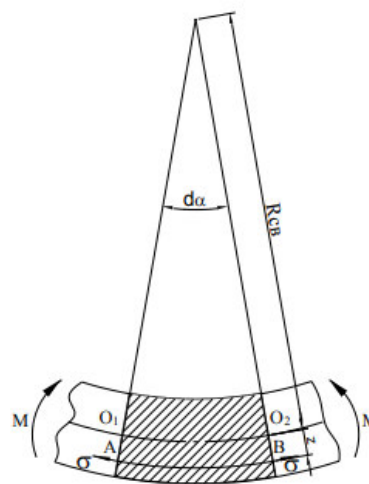


Рис. 2. Участок полотнища, свернутый в рулон радиуса ρ

Напряжение по толщине полотнища распределяются по линейному закону:

$$\sigma = E\varepsilon = \frac{Ez}{R_{св}} \quad (4)$$

Для исследования распределения напряженно-деформированного состояния стенки резервуара было проведено компьютерное моделирование в программном комплексе

ABAQUS. В качестве модели полотнища резервуара выбран лист стали марки СтЗсп размером 405×300×2 мм. Диаметр каркаса равен 50 мм.

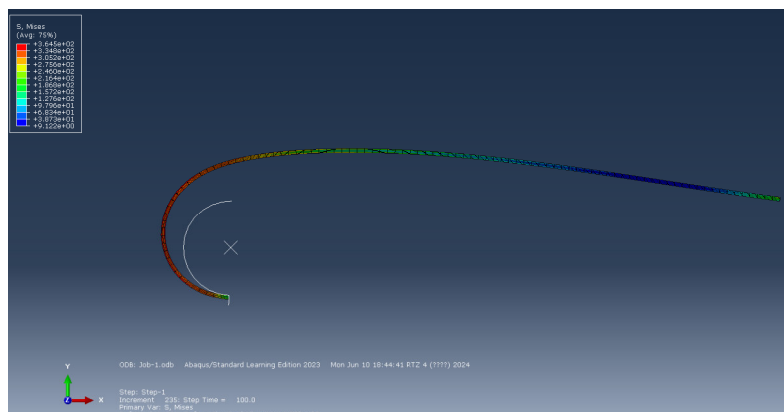


Рис. 3. Распределение напряжений по Мизесу

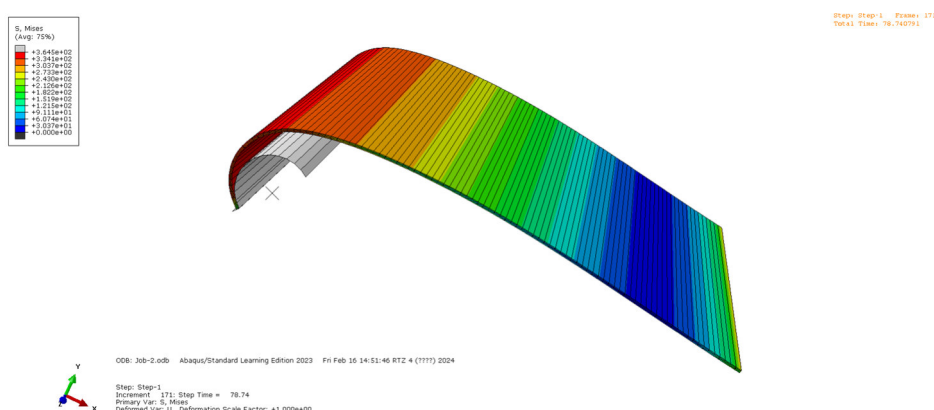


Рис. 4. Распределение напряжений по Мизесу

На представленных рисунках 3, 4 наглядно показаны основные и эквивалентные напряжения, возникающие в пластине в процессе рулонирования. Напряжения в процессе рулонирования достигают 334,1 МПа. Это приводит к возникновению остаточных упругих и пластических деформаций в стенке полотнища.

После освобождения полотнища, свернутого в рулон, от удерживающих планок рулон переходит в свободное состояние, при этом листы, толщина которых не превышает величины упругой зоны, распрямятся.

Таким образом, НДС полотнища после снятия удерживающих конструкций в свернутом состоянии определяется состоянием свернутого рулона, т.е. рассмотренные технологические операции необходимо моделировать последовательно в соответствии с реальной последовательностью технологических процессов.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что для расчёта напряжённо-деформированного состояния корпуса вертикального резервуара необходимо учитывать напряжения, возникающие в процессе рулонирования. Это даст возможность более точно определить напряжения и перемещения в конструкции резервуара, что очень важно для его надёжности и долговечности в процессе эксплуатации.

Выводы. На основе разработанной модели поведения стенки резервуара в программном комплексе ABAQUS было проведено исследование распределения напряженно-деформированного состояния (НДС) в процессе рулонирования.

Получены напряжения, возникающие в полотнище в процессе рулонирования, которые необходимо учитывать при расчёте напряжённо-деформированного состояния резервуара. Это

дает возможность более точно определить напряжения и перемещения в конструкции резервуара, что очень важно для его надёжности и долговечности в процессе эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдрахманова К.Н., Тляшева Р.Р., Шерматов Д.Н., Кадыров Р.О., Гафарова В.А., Гимаев Р.А. Верификация цифровой модели нагружением оболочки внутренним давлением до разрушения // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2022. № 2. С. 5–19. DOI: 10.17122/ogbus-2022-2-5-19. EDN XRMABY.
2. Насибуллина О.А., Тляшева Р.Р., Касинцева Д.Д. Повышение точности изготовления сварных корпусов аппаратов для обеспечения наилучшего теплообмена // Нефтегазовое дело. 2022. Т. 20. № 2. С. 148–154. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-2-148-154. EDN DGKNMI.
3. Каримов Р. Ф., Баязитов М. И. Обеспечение прочности РВС-10000 на основе численного моделирования корректировки окраек днища в процессе монтажа // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 7(121). С. 26–29.
4. Гафарова В.А., Шерматов Д.Н., Баязитов М.И., Арсланов А.Л. Разработка алгоритма создания цифрового двойника сварного соединения оболочковой конструкции (часть 1) // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 5. С. 198–211. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-5-198-211. EDN EAQRGH.
5. Каравайченко М.Г. Прочность и живучесть резервуаров. М.: Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2023. 524 с.
6. Баязитов М.И., Бердин В.К., Кузеев И.Р., Тляшева Р.Р. Оценка напряженно-деформированного состояния вертикальных резервуаров с нефтепродуктами с учетом внештатных ситуаций // Нефтегазовое дело. 2022. № 4. С. 21–45. DOI: 10.17122/ogbus-2022-4-21-45. EDNFUTGWC.
7. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Резников Д.О., Неганов Д.А. Анализ напряженно-деформированных и предельных состояний в экстремально нагруженных зонах машин и конструкций // Чебышевский сборник. 2017. Т. 18, № 3 (63). С. 394–416. DOI 10.22405/2226-8383-2017-18-3-394-416. EDNUXBEKD.
8. Гафарова В.А., Шерматов Д.Н., Баязитов М.И., Арсланов А.Л. Изменение распределения магнитных характеристик в стальной оболочковой конструкции в результате формирования сварного соединения (часть 2) // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 6. С. 252–263. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-6-252-263. EDN XGFOVS.
9. Баязитов М.И., Нугаев И.К. Совершенствование мониторинга надежности, определение основных целей технического обслуживания оборудования и понятий отказов // Современные технологии в нефтегазовом деле. 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции, Октябрьский, 26 марта 2021 года. С. 573–577.
10. Tarasenko A., Chepur P., Gruchenkova A. Numerical modeling of a vertical steel tank differential settlement development // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. Vol. 1258. Pp. 60–70. DOI 10.1007/978-3-030-57450-5_6. EDN IDNVIL.
11. Abdrakhmanova K.N. Possibilities of an object digital twin application in order to extend and predict safe operation resource // Science.Education. Practice: materials of the international University Science Forum, April 22, 2020. Pp. 182–186.
12. Каравайченко М. Г., Абдрафикова С. Р. Построение двухсетчатой купольной крыши резервуара // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Т. 9, № 3. С. 273–277. DOI 10.28999/2541-9595-2019-9-3-273-277. EDN ZTNFOP.
13. Jha A.K., Arumugham S. Metallographic analysis of embedded crack in electron beam welded austenitic stainless steel chemical storage tank // Engineering Failure Analysis. 2001. Vol. 8, No. 2. Pp. 157–166.
14. Dmitrieva A.S., Samigullin G.H., Lyagova A.A. Evaluation of stress-strain state of steel cylindrical tank with crack defect using ansys software // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources - Proceedings Of The International Forum-Contest of Young Researchers, 2018 : Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers , St. Petersburg, 18–20 апреля 2018 года. St. Petersburg, 2019. Pp. 97–103.
15. Каравайченко М.Г., Васильев А.В., Галимзянов Р.И. Анализ прочности, жесткости и плавучести понтонов для вертикальных цилиндрических резервуаров // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Т. 9, № 6. С. 626–632. DOI: 10.28999/2541-9595-2019-9-6-626-632. EDNEXYASS.
16. Комаров П.А. Определение радиуса вальцовки ремонтных вставок при ремонте стальных резервуаров, изготовленных методом рулонирования // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2012. №4(36). С. 215–220.

Информация об авторах

Вагазова Дарья Дмитриевна, аспирант кафедры технологические машины и оборудование. E-mail: kasintsevadaria@mail.ru. Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, д.1

Орефьева Ксения Константиновна, магистрант кафедры технологические машины и оборудование. E-mail: charmed9393@gmail.com. Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, д.1

Тляшева Резеда Рафисовна, доктор технических наук, профессор кафедры технологические машины и оборудование. E-mail: rezedat@gmail.com. Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, д.1

Поступила 19.06.2024 г.

© Вагазова Д.Д., Орефьева К.К., Тляшева Р.Р., 2025

***Vagazova D.D., Orefyeva K.K., Tlyasheva R.R.**

Ufa State Petroleum Technical University

**E-mail: kasintsevadaria@mail.ru*

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE TANK WALL DURING THE ROLLING PROCESS

Abstract. *The production of tanks by rolling is one of the advanced industrial methods that significantly reduces installation time. At the same time, the walls, bottom and roof of the tank are delivered to the construction site in the form of rolls, which minimizes the amount of welding work on site and improves the quality of welds thanks to factory double-sided automatic welding. However, the presence of a large number of welds, especially in the case of oversized tanks, can lead to stress concentration, which increases the risk of defects and accidents.*

The rolling process, accompanied by repeated elastoplastic deformation, has a significant effect on the walls of the container, especially in the places of welded joints. The classical calculation of such an effect on the tank walls is difficult, so digital models are used for the study. This article presents a simulation of the stress-strain state of the tank wall, taking into account the rolling process, carried out on a 405x300x2 mm shell sample made of St3sp steel. The choice of St3sp steel, which is a widely used structural carbon steel, is due to its properties suitable for tank operating conditions, such as design pressure, temperature, chemical environment and corrosion resistance. The study focuses on identifying the characteristics of the stress-strain state of the tank wall, resulting from the rolling process, which is crucial for ensuring the safe and efficient operation of the tank throughout its entire service life.

The results of the stress-strain state of the tank wall during the rolling process are obtained, which indicate the importance of taking into account residual stresses when calculating the residual life of the tank.

Keywords: *reservoir, rolling, ABAQUS, finite element method, modeling, stress-strain state*

REFERENCES

1. Abdrakhmanova K.N., Tlyasheva R.R., Shermatov D.N., Kadyrov R.O., Gafarova V.A., Gimaev R.A. Verification of the digital model by loading the shell with internal pressure before destruction [Verifikaciya cifrovoj modeli nagruzheniem obolochki vnutrennim davleniem do razrusheniya]. Electronic scientific journal Oil and Gas business. 2022. No. 2. Pp. 5–19. DOI: 10.17122/ogbus-2022-2-5-19. EDN XRMABY. (rus)
2. Nasibullina O.A., Tlyasheva R.R., Kasintseva D.D. Improving the accuracy of manufacturing welded apparatus housings to ensure the best heat transfer [Povyshenie tochnosti izgotovleniya svarnyh korpusov apparatov dlya

obespecheniya nailuchshego teploobmena]. Oil and gas business. 2022. Vol. 20. No. 2. Pp. 148–154. DOI 10.17122/ngdelo-2022-2-148-154. EDN DGKNMI.(rus)

3. Karimov R.F., Bayazitov M.I. Ensuring the strength of the RVS-10000 based on numerical modeling of the correction of the bottom edges during installation [Obespechenie prochnosti RVS-10000 na osnove chislennogo modelirovaniya korrekcirovki okraek dnishcha v processe montazha]. Science and business: ways of development. 2021. No. 7(121). Pp. 26–29.(rus)

4. Gafarova V.A., Shermatov D.N., Bayazitov M.I., Arslanov A.L. Development of an algorithm for creating a digital double of a welded joint of a shell structure (part 1) [Razrabotka algoritma sozdaniya cifrovogo dvojnika svarnogo soedineniya

obolochkovoj konstrukcii (chast' 1)] . Oil and gas business. 2023. Vol. 21, No. 5. Pp. 198–211. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-5-198-211. EDN EAQRGH.(rus)

5. Karavaichenko M.G. Strength and survivability of reservoirs[Prochnost' i zhivuchest' rezervuarov]. Moscow: St. Petersburg: High-tech technologies, 2023. 524 p. (rus)

6. Bayazitov M.I., Berdin V.K., Kuzeev I.R., Tlyasheva R.R. Assessment of the stress-strain state of vertical reservoirs with petroleum products, taking into account emergency situations [Ocenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya vertikal'nyh rezervuarov s nefteproduktami s uchetom vneshtatnyh situacij]. Oil and gas business. 2022. No. 4. Pp. 21–45. DOI: 10.17122/ogbus-2022-4-21-45. EDN FUTGWC.(rus)

7. Makhutov N.A., Gadenin M.M., Reznikov D.O., Neganov D.A. Analysis of stress-strain and limit states in extremely loaded zones of machines and structures [Analiz napryazhenno-deformirovannyh i predel'nyh sostoyanij v ekstremal'no nagruzhennyh zonah mashin i konstrukcij]. Chebyshevsky collection. 2017. Vol. 18, No. 3 (63). Pp. 394–416. DOI: 10.22405/2226-8383-2017-18-3-394-416. EDN UXBEKD.(rus)

8. Gafarova V.A., Shermatov D.N., Bayazitov M.I., Arslanov A.L. Change in the distribution of magnetic characteristics in a steel shell structure as a result of the formation of a welded joint (part 2) [Izmenenie raspredeleniya magnitnyh harakteristik v stal'noj obolochkovoj konstrukcii v rezul'tate formirovaniya svarnogo soedineniya (chast' 2)]. Oil and gas business. 2023. Vol. 21. No. 6. Pp. 252–263. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-6-252-263. EDN XGFOVS.(rus)

9. Bayazitov M.I., Nugaev I.K. Improving reliability monitoring, determining the main objectives of equipment maintenance and concepts of failures [Sovershenstvovanie monitoringa nadezhnosti, opredelenie osnovnyh celej tekhnicheskogo obsluzhivaniya oborudovaniya i ponyatij otkazov]. Modern technologies in oil and gas business. 2021. Proceedings of the International Scientific and Technical conference, Oktyabrsky, March 26, 2021. Pp. 573–577.(rus)

10. Tarasenko A., Chepur P., Gruchenkova A. Numerical modeling of a vertical steel tank

differential settlement development. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. Vol. 1258. Pp. 60–70. DOI 10.1007/978-3-030-57450-5_6. EDN IDNVIL.

11. Abdrakhmanova K.N. Possibilities of an object digital twin application in order to extend and predict safe operation resource. Science. Education. Practice: materials of the international University Science Forum, April 22, 2020. Pp. 182–186.

12. Karavaichenko M.G., Abdrafikova S.R. Construction of a double-mesh dome roof of a reservoir [Postroenie dvuhsetchatoj kupol'noj kryshi rezervuara]. Science and technology of pipeline transportation of oil and petroleum products. 2019. Vol. 9, No. 3. Pp. 273–277. DOI 10.28999/2541-9595-2019-9-3-273-277. EDN ZTNFOP.(rus)

13. Jha A.K., Arumugham S. Metallographic analysis of embedded crack in electron beam welded austenitic stainless steel chemical storage tank. Engineering Failure Analysis. 2001. Vol. 8, No. 2. Pp. 157–166.

14. Dmitrieva A.S., Samigullin G.H., Lyagova A.A. Evaluation of stress-strain state of steel cylindrical tank with crack defect using ansys software. Topical Issues of Rational Use of Natural Resources - Proceedings Of The International Forum-Contest of Young Researchers, 2018 : Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers , St. Petersburg, April 18-20, 2018. St. Petersburg, 2019. Pp. 97–103.

15. Karavaichenko M.G., Vasiliev A.V., Galimzyanov R.I. Analysis of strength, stiffness and buoyancy of pontoons for vertical cylindrical tanks [Analiz prochnosti, zhestkosti i plavuchesti pontonov dlya vertikal'nyh cilindricheskih rezervuarov]. Science and technology of pipeline transportation of oil and petroleum products. 2019.T. 9, No. 6. Pp. 626–632. DOI: 10.28999/2541-9595-2019-9-6-626-632. EDN EXYASS.(rus)

16. Komarov P.A. Determination of the rolling radius of repair inserts during the repair of steel tanks made by the rolling method [Opredelenie radiusa val'covki remontnyh vstavok pri remonte stal'nyh rezervuarov, izgotovlennyh metodom rulonirovaniya]. Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences. 2012. No. 4 (36). C. 215–220.

Information about the authors

Vagazova, Daria D. Postgraduate student. E-mail: kasintsevadaria@mail.ru. Ufa State Petroleum Technical University, Russia, 450064, Ufa, Kosmonavtov str., 1

Orefieva, Ksenia K. Undergraduate student. E-mail: charmed9393@gmail.com. Ufa State Petroleum Technical University, Russia, 450064, Ufa, Kosmonavtov str., 1

Tlyasheva Rezeda R. DSc, Professor. E-mail: rezedat@gmail.com. Ufa State Petroleum Technical University, Russia, 450064, Ufa, Kosmonavtov str., 1.

Received 19.06.2024

Для цитирования:

Вагазова Д.Д., Орефьева К.К., Тляшева Р.Р. Анализ напряженно-деформированного состояния стенки резервуара в процессе рулонирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 5. С. 109–117. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-5-109-117

For citation:

Vagazova D.D., Orefyeva K.K., Tlyasheva R.R. Analysis of the stress-strain state of the tank wall during the rolling process. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 5. Pp. 109–117. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-5-109-117