

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ РУЛОНИРОВАННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ НА ИХ ПРОЧНОСТЬ

Вагазова Д.Д.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Ключевые слова: резервуар, напряженно-деформированное состояние, рулонирование, полотнище, стенка резервуара, сталь.

Аннотация. Обеспечение надежности и долговечности резервуаров являются важными задачами в нефтеперерабатывающей промышленности. Для решения этих задач необходимо проводить корректный анализ напряженно-деформированного состояния конструкции на всех этапах её жизненного цикла. В Российской Федерации активно применяется строительство резервуаров методом рулонирования. Метод рулонирования предусматривает изготовление плоских полотнищ стенки резервуара на заводе с последующим сворачиванием в рулон. При многократных упругопластических деформациях, свойства материала изменяются. Применение метода конечных элементов, который позволяет учитывать изменение свойств материала, представляет собой эффективный инструмент для получения детализированных результатов напряженно-деформированного состояния резервуара. Результаты, полученные с использованием метода конечных элементов, обладают высокой степенью достоверности и могут служить надежной основой для принятия инженерных решений, направленных на обеспечение долговечности и безопасности эксплуатации резервуара.

RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF ASSEMBLY OF ROLLED TANKS FOR THEIR STRENGTH

Vagazova D.D.

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

Keywords: reservoir, stress-strain state, rolling, panel, tank wall, steel.

Abstract. Ensuring the reliability and durability of tanks are important tasks in the oil refining industry. To solve these problems, it is necessary to carry out a correct analysis of the stress-strain state of the structure at all stages of its life cycle. In the Russian Federation, the construction of tanks by the roll method is actively used. The rolling method involves the production of flat panels of the tank wall at the factory, followed by rolling. With repeated elastoplastic deformations, the properties of the material change. The application of the finite element method, which allows taking into account changes in material properties, is an effective tool for obtaining detailed results of the stress-strain state of the tank. The results obtained using the finite element method have a high degree of reliability and can serve as a reliable basis for making engineering decisions aimed at ensuring the durability and safety of tank operation.

Введение

В настоящее время, при проектировании резервуаров используется расчетный метод анализа прочности, в основу которого заложено условие равнопрочности сварного соединения и основного металла резервуара. При этом опыт эксплуатации резервуаров показывает, что сварное соединение является концентратором негативных факторов, влияющих на целостность резервуара [1-3]. Расчетные методы оценки прочности уже эксплуатирующихся резервуаров рассматривают сварное соединение, как ослабленный участок, однако не учитывают ряд факторов, которые могут оказывать решающее влияние на прочность и долговечность участка резервуара. Одним из существенных факторов является различие в механических и пластических характеристиках СтЗсп5 в продольном и поперечном направлении проката, возникающее вследствие рулонирования полотнищ.

В процессе рулонирования и разворачивания полотнищ стенки резервуара прочностные и пластические характеристики механических свойств сварных соединений материала стали СтЗсп5 в продольном и поперечном направлении проката, различны.

Для того, чтобы корректно оценить напряженно-деформированное состояние рулонированного резервуара, необходимо учесть механическую неоднородность, возникающую при его изготовлении [4, 5].

Материалы и методы исследования

Для моделирования резервуара, изготовленного методом рулонирования, был использован программный комплекс ABAQUS. ABAQUS – это универсальный программный комплекс, который можно использовать для различных целей. Он подходит как для многоцелевого инженерного анализа, так и для научных исследований и обучения в разных областях.

ABAQUS был разработан для решения сложных задач с учётом всех видов нелинейностей [6-10]. Использование программного комплекса ABAQUS позволяет учесть сложные физические процессы, происходящие в материале резервуара. Это, в свою очередь, способствует более точному проектированию и повышению надёжности резервуаров, изготовленных методом рулонирования.

Для исследования влияния технологии рулонированной сборки резервуара на прочность был выбран резервуар объемом 3000 м³. Расчетная схема приложения нагрузок приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Конечно-элементная модель резервуара

Прежде всего, необходимо определить исходные данные для проведения расчета резервуара, изготовленного методом рулонирования. Чтобы создать конечно-элементную модель резервуара, потребуются его геометрические параметры: диаметр, высота стенки, количество поясов и их толщина. Кроме того, важно знать проектный уровень налива продукта, плотность этого продукта и нагрузки, действующие на резервуар, такие как ветровая и нагрузка от веса крыши.

На следующем этапе необходимо разработать модель материала стенки резервуара, учитывая технологию рулонирования. Механические свойства материала вдоль проката и поперечно направлению проката определяются путем проведения механических испытаний. Модель материала принимается упругопластической.

Результаты моделирования

Результаты, полученные при расчете созданной модели РВС-3000 с условием максимального взлива нефтепродукта, приведены на рисунках 2 и 3.

На рисунках 2, 3 наглядно продемонстрировано распределение напряжения в различных частях резервуара. Распределение напряжений играет важную роль при определении зоны локализации и накоплений деформаций. Видно, что максимальные напряжения 250 МПа наблюдаются в вертикальном и горизонтальном сварных соединениях первого пояса резервуара.

Проведем проверочный расчет резервуара на прочность. Определим напряжения в стенке по поясам и сравним их значения с предельно допустимым напряжением (табл. 1).

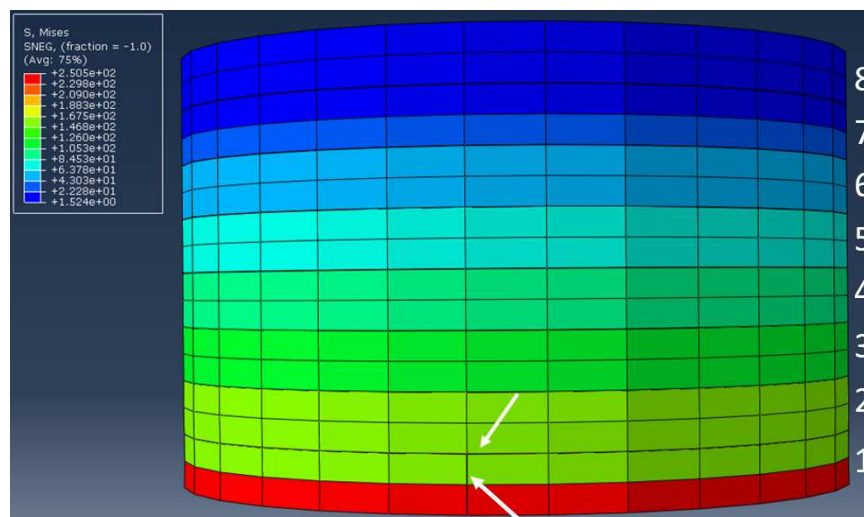


Рис. 2. Распределение напряжений по Мизесу



Рис. 3. Распределение напряжений по Мизесу

Табл. 1. Результаты расчетов

Параметр	№ пояса стенки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Толщина стенки по поясам, мм	10	8	8	8	8	8	8	8
Значения расчетных напряжений, МПа	250	167	146	105	84	63	43	22
Значения предельно допустимых напряжений, МПа	175,5	200,585						

При нормативном сопротивлении по пределу текучести условие прочности не соблюдается для первого пояса резервуара. Это означает, что при действующих эксплуатационных нагрузках материал в этих зонах склонен к пластическим деформациям, то есть к изменению формы и размеров без разрушения. Такие деформации могут накапливаться со временем и приводить к снижению прочности и жёсткости конструкции, ухудшению её эксплуатационных характеристик и к возникновению аварийных ситуаций.

В обеспечении надежности конструкций важнейшим направлением является предотвращение хрупкого разрушения. Так как за время эксплуатации, под действием циклических нагрузок, материал стенки сосуда изменяет свои механические свойства, а именно прочностные характеристики металла увеличиваются, пластические – уменьшаются, но при этом он становится более хрупким особенно при понижении температуры. Следствием этого в отдельных зонах напряжения достигают предела текучести, то есть возникает упруго-пластическая деформация и область малоциклового усталости. Она

характерна образованием трещин, которые опасны стремительным развитием. Стандартные методики оценки усталостной прочности так же не учитывают процессов деформационного старения материала под действием циклических нагрузок.

На рисунке наглядно продемонстрировано распределение напряжения в различных частях резервуара после 5000 циклов заполнения-освобождения. Видно, что максимальные напряжения составляют 299 МПа.

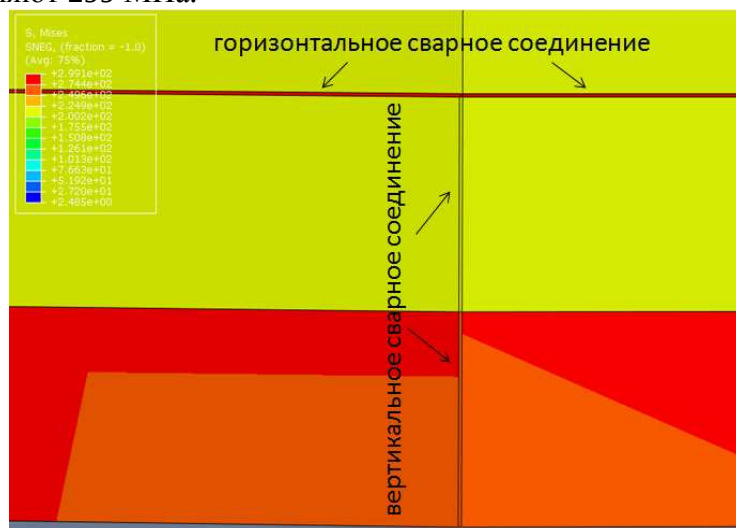


Рис. 3. Распределение напряжений по Мизесу

Учёт неоднородности сварного соединения и основного металла при расчёте резервуаров МКЭ значительно влияет на их прочность. Расчёты показывают, что напряжения в первом поясе резервуара после 500 циклов заполнения-освобождения превышают предел текучести. Это может привести к пластическим деформациям, снижению прочности и даже разрушению конструкции. Поэтому учёт неоднородности сварного соединения и основного металла является важным фактором при проектировании и расчёте резервуаров, чтобы обеспечить их надёжность и безопасность.

Выводы

В результате проведённого анализа было выявлено значительное влияние механической неоднородности сварных соединений, возникающей в результате изготовления резервуаров методом рулонирования, на его напряжённо-деформированное состояние. Установлено, что в вертикальных и горизонтальных сварных соединениях первого пояса присутствуют напряжения, превышающие допустимые значения. Это может свидетельствовать о потенциальных рисках и необходимости усиления контроля за состоянием данных соединений для обеспечения безопасности и надёжности эксплуатации резервуара.

Список литературы

1. 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. – С. 215-220.
2. Каравайченко М.Г. Прочность и живучесть резервуаров. – М., СПб.: Научные технологии, 2023. – 524 с.
3. Тянь В.К., Комаров П.А. Моментная теория моделирования процессов производства, строительства и эксплуатации резервуаров, изготовленных промышленным способом // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2022. – №5-6. – С. 43-49. – DOI: 10.24412/0131-4270-2022-5-6-43-49.
4. Тянь В.К., Комаров П.А. Индивидуальный подход к ремонту поясов резервуара промышленного изготовления // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2023. – №1. – С. 29-34. – DOI: 10.24412/0131-4270-2023-1-29-34.
5. 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.

6. 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.
7. Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Абшенов Х.А., Сарсенбаев А.А. Оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) зоны вмятины в стенке вертикального цилиндрического резервуара // Путь науки. – 2016. – Т. 1, №9(31). – С. 18-22.
8. 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. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2021. – С. 573-577.
9. Мухаметдинов Р.А., Тляшева Р.Р. К вопросу о напряженно-деформированном состоянии (НДС) в эластичных резервуарах // Вестник молодого ученого УГНТУ. – 2022. – №2(18). – С. 63-68.
10. 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 // Нефтегазовое дело. – 2022. – №2. – С. 5-19. – DOI: 10.17122/ogbus-2022-2-5-19.

References

1. Komarov P.A. Determination of the rolling radius of repair inserts during the repair of steel tanks made by the rolling method // Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences. 2012, no. 4, pp. 215-220.
2. Karavaichenko M.G. Strength and survivability of reservoirs. – M., SPb.: High-tech technologies, 2023. – 524 p.
3. Tyan V.K., Komarov P.A. Moment theory of modeling the processes of production, construction and operation of tanks manufactured in an industrial way // Transport and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials. 2022, no. 5-6, pp. 43-49. – DOI: 10.24412/0131-4270-2022-5-6-43-49.
4. Tyan V.K., Komarov P.A. An individual approach to the repair of industrial production tank belts // Transport and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials. 2023, no. 1, pp. 29-34. DOI: 10.24412/0131-4270-2023-1-29-34.
5. 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) // Oil and gas business. 2023, vol. 21, no. 6, pp. 252-263. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-6-252-263.
6. Nasibullina O.A., Tlyasheva R.R., Kasintseva D.D. Improving the accuracy of manufacturing welded apparatus housings to ensure the best heat transfer // Oil and gas business. 2022, vol. 20, no. 2, pp. 148-154. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-2-148-154.
7. Suleimenov U.S., Kambarov M.A., Abshenov H.A., Sarsenbaev A.A. Assessment of the stress-strain state (VAT) of the dent zone in the wall of a vertical cylindrical tank // Path of Science. 2016, vol. 1, no. 9(31), pp. 18-22.
8. Bayazitov M.I., Nugaev I.K. Improving reliability monitoring, determining the main objectives of equipment maintenance and concepts of failures // Modern technologies in oil and gas business – 2021. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. – Ufa: Publ. house of USPTU, 2021. – P. 573-577.
9. Mukhametdinov R.A., Tlyasheva R.R. On the issue of stress-strain state (VAT) in elastic reservoirs // Bulletin of the young scientist of the USPTU. 2022, no. 2(18), pp. 63-68.
10. 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 // Oil and Gas business. 2022, no. 2, pp. 5-19. DOI: 10.17122/ogbus-2022-2-5-19.

Сведения об авторах:

Вагазова Дарья Дмитриевна – аспирант, инженер кафедры «Технология металлов в нефтегазовом машиностроении»
kasintsevadaria@mail.ru

Information about authors:

Vagazova Daria Dmitrievna – postgraduate student, engineer of the Department of metal technology in oil and gas engineering

Получена 09.06.2025