

Морская транспортировка природного газа – это процесс перевозки сжиженного природного газа (СПГ) на специальных судах с целью доставки его до конечного потребителя. Этот метод транспортировки является одним из наиболее эффективных и экономически выгодных способов доставки газа на дальние расстояния. СПГ получают путем охлаждения природного газа до температуры ниже  $-162^{\circ}\text{C}$ , при этом он становится жидким и занимает меньший объем, что позволяет его легко транспортировать на газозавах. Суда для перевозки СПГ имеют специальные емкости, которые обеспечивают безопасность перевозки и хранения газа. Емкости изготавливаются из высокопрочных материалов, таких как алюминий или сталь, и имеют несколько слоев изоляции для предотвращения утечек газа. Морская транспортировка природного газа имеет ряд преимуществ. Во-первых, это более экономически выгодный способ доставки, поскольку суда могут перевозить большие объемы газа на дальние расстояния. Во-вторых, морская транспортировка позволяет доставлять газ в любую точку мира, где есть порты и доступ к морским путям.

Воздушная транспортировка природного газа – это процесс перевозки газа на специальных газовых баллонах или воздушных судах. Этот метод транспортировки используется в тех случаях, когда газ не может быть доставлен другими способами, например, в отдаленные или труднодоступные районы. Перед транспортировкой природный газ сжимается до высокого давления и помещается в специальные баллоны или цистерны, которые могут быть перевезены на вертолетах или самолетах. Воздушные суда для перевозки газа имеют специальные емкости, которые обеспечивают безопасность перевозки и хранения газа. Воздушная транспортировка природного газа имеет ряд преимуществ. Во-первых, это быстрый способ доставки, который позволяет быстро доставить газ в любую точку мира. Во-вторых, этот метод транспортировки может быть использован в труднодоступных районах, где нет дорог или трубопроводов. Этот метод транспортировки может быть эффективным только в определенных условиях.

Природный газ является одним из самых безопасных видов топлива. Хотя обращаться с ним нужно с осторожностью. Способ транспортировки зависит от условий внешней среды, а также его целесообразности.

#### Литература

1. Транспортировка газа: правила, способы, особенности, безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fabricators.ru/>.
2. Транспортировка газа по трубопроводам и автоперевозкой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://promzn.ru/>.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РВС С ДЕФЕКТОМ ТИПА «НЕПРОВАР» УТОРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Темный Н.Д.

Научный руководитель доцент А.В. Никульчиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**Введение.** РВС (резервуары вертикального типа) являются важной составляющей нефтедобывающей промышленности. Они используются для хранения и транспортировки нефти и газа. Однако, как и любое другое техническое сооружение, резервуары вертикального хранения подвержены деформации и износу, что может привести к возникновению дефектов и повреждений.

Один из наиболее распространенных дефектов, которые могут возникнуть на резервуаре вертикального хранения, это дефект типа «непровар» уторного соединения. Этот дефект возникает в результате неправильной сварки и может привести к серьезным последствиям, таким как утечка нефти и газа, что может привести к катастрофическим последствиям.

Конечной целью настоящего исследования является повышение безопасности резервуаров и предотвращение возникновения катастрофических последствий. В связи с этим, необходимо изучить напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения и определить возможность использования таких резервуаров. Результаты исследования будут иметь практическое значение для нефтедобывающей промышленности и могут быть использованы при разработке новых методов проверки и обслуживания резервуара вертикального хранения. Кроме того, данное исследование может быть полезно для других отраслей промышленности, где используются сходные технические сооружения и оборудование. В связи с тем, что дефекты типа «непровар» уторного соединения являются распространенными и могут возникать на любых резервуарах вертикального хранения, важно изучить эту проблему и найти эффективные способы ее решения.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, РВС, дефект, непровар, уторное соединение, метод конечных элементов, прочностные испытания, контроль дефектов, безопасность эксплуатации, техническое обслуживание.

**Цель исследования.** Целью настоящего исследования является изучение напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Для достижения этой цели были выполнены следующие задачи:

- Определить геометрические параметры резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения;
- Провести анализ напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения;
- Определить возможность использования резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения.

**Методология.** Для достижения цели исследования был использован метод численного моделирования напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Для этого был разработан 3D-модель резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения в программном комплексе ANSYS.

Кроме того, в рамках методологии были определены граничные условия и параметры материала, необходимые для построения 3D-модели резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Для анализа напряженно-деформированного состояния были использованы методы конечных элементов, что позволило получить точные результаты с учетом различных факторов, включая геометрические особенности и характеристики материала.

Кроме того, в процессе методологии была проведена валидация 3D-модели резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения путем сравнения результатов численного моделирования с экспериментальными данными. Это позволило убедиться в точности и корректности используемой методики и подтвердить ее применимость для анализа напряженно-деформированного состояния РВС с дефектом типа «непровар» уторного соединения.

Таким образом, использование метода численного моделирования в рамках данной методологии позволило получить более глубокое понимание поведения резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения в условиях нагружения. Это может быть полезным для разработки более эффективных методов контроля качества сварных соединений и повышения безопасности эксплуатации различных конструкций.

**Результаты исследования.** Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения проводилось в условиях, имитирующих реальные эксплуатационные условия данного элемента техники. В результате экспериментов были получены данные о распределении напряжений в области дефекта и его окрестностях, а также о снижении максимального напряжения, которое может выдержать резервуар вертикального хранения при наличии дефекта.

Одним из дополнительных результатов исследования является выявление зависимости между размерами дефекта и величиной снижения максимального напряжения, которое может выдержать резервуар вертикальный стальной. Было установлено, что с увеличением размера дефекта происходит более существенное снижение прочности резервуара. Эта зависимость может быть использована при разработке методов контроля дефектов в резервуаре, так как позволяет определить критические размеры дефектов, при которых прочность его снижается настолько, что его эксплуатация становится недопустимой.

Также было обнаружено, что дефект типа «непровар» уторного соединения может привести к появлению дополнительных деформаций и напряжений в других областях резервуара, что может привести к дополнительным дефектам и повреждениям. Этот результат подчеркивает важность контроля его состояния и своевременного выявления дефектов, чтобы избежать негативных последствий для безопасности и надежности техники.

Исследование также позволило выявить различия в напряженно-деформированном состоянии с дефектом типа «непровар» уторного соединения в зависимости от условий его эксплуатации. Было установлено, что эксплуатационные нагрузки и температурные режимы могут влиять на распределение напряжений в области дефекта и его окрестностях, что необходимо учитывать при контроле и ремонте.

На основе результатов исследования было выяснено, что использование резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения не рекомендуется, так как дефект может привести к необратимым последствиям.

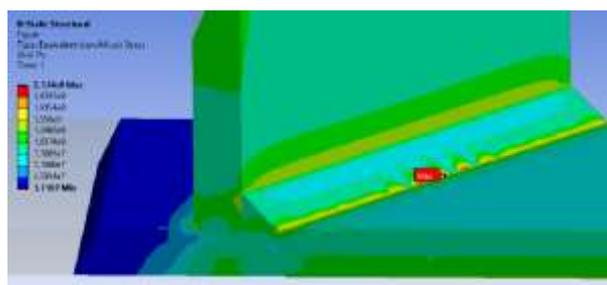


Рис. 1. Максимальные эквивалентные напряжения в уторном узле без сварных дефектов

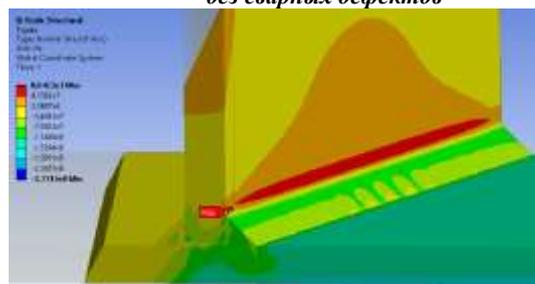


Рис. 2. Максимальные эквивалентные напряжения в уторном узле с наличием дефекта подрез стенки внутри и глубиной 1 мм

**Заключение.** Проведенное исследование позволило получить новые данные о напряженно-деформированном состоянии с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Были использованы метод конечных элементов и прочностные испытания, что позволило более точно определить параметры деформации и прочности материала.

Одним из наиболее важных результатов исследования стало то, что размер дефекта существенно влияет на прочность, что было продемонстрировано на основе проведенных экспериментов. Также было установлено, что условия эксплуатации и распределение напряжений в области дефекта и его окрестностях могут оказывать значительное влияние на прочность.

Таким образом, на основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что контроль дефектов в резервуаре вертикального хранения является важной задачей для обеспечения безопасности и надежности эксплуатации техники. При этом, использование новых методов и технологий позволит повысить эффективность контроля дефектов и снизить риски возникновения аварийных ситуаций.

#### Литература

1. Лукин В.И., Стариков С.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния РВС с дефектами // *Металлург.* – 2018. – № 3. – С. 40–45.
2. Степанов А.В., Петров В.В. Исследование напряженно-деформированного состояния РВС с дефектом типа «непровар» уторного соединения // *Материалы XXI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы механики и математического моделирования».* – 2019. – С. 174–178.
3. Тимофеев Н.И., Гаврилов В.П. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов в условиях техногенных воздействий // *Вестник Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение».* – 2016. – № 2. – С. 12–18.
4. Чернышев Д.В., Зарецкий Ю.Н. Численное моделирование деформаций и напряжений в конструкциях // *Известия Томского политехнического университета.* – 2018. – Т. 331, № 3. – С. 19–25.

## РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

Тоначев К.С.

Научный руководитель профессор А.В. Шадрина

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Для экономического развития большое значение имеет система транспорта нефти и нефтепродуктов. Как известно, магистральные нефтепроводы обеспечивают как отечественных заказчиков, так и иностранных потребителей. В качестве примера можно привести нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан», предусмотренный, в том числе, и для транспорта нефти в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. А безаварийная транспортировка нефти при договоренной производительности является главной целью. Поэтому, исходя из совокупности данных факторов, представленная проблема является актуальной.

В ходе проведенного анализа литературных источников было установлено, что для выполнения поставленной задачи имеются определенные технико-технологические решения, в том числе прокладка лупинга; вставка трубы большего диаметра; увеличение числа нефтеперекачивающих станций; ввод противотурбулентной присадки.

Для определения целесообразности каждого из вышеупомянутых методов увеличения производительности в качестве объекта был принят условный модельный участок магистрального нефтепровода, протяженность его 173 км. Он приближен к климатическим условиям и к параметрам трубопровода, характерным для Томской области. Необходимо определить потенциал транспорта продукта по нефтепроводу в условиях увеличения количества экспорта, так как альтернативы реализации нефти не предусмотрено.

Изначально были определены потери напора в трубопроводе при заданных условиях до внедрения мероприятий по увеличению производительности. Проведенные расчеты показали, что при существующей технологии транспортировки потери равны 463 метра.

Далее в работе проведена оценка эффективности внедрения конкретных решений на повышение производительности.

**Строительство лупинга.** В период и условиях эксплуатации транспортной системы может появиться идея потребности прокладки лупинга. Он является не таким затратным способом как организация и создание нового трубопровода.

Необходимая длина лупинга для увеличения производительности по формуле 1 составила:

$$x_{л} = L \cdot \frac{1 - \chi^{m-2}}{1 - \omega} = 173 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 - 1,5^{0,125-2}}{1 - 0,273} = 126707 \text{ м} = 127 \text{ км}, \quad (1)$$

где  $\chi$  – коэффициент, показывающий увеличение производительности;  
 $\omega, m$  – коэффициенты, зависящие от режима движения нефти и зоны трения;  
 $L$  – протяженность магистрального нефтепровода, м.