

**ЗАДАЧА ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ГЕОМЕТРИИ РЕЗЕРВУАРА
ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО (РВС)**

Комаров К.С.

Научный руководитель доцент М.С. Павлов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Качественное моделирование геометрии вертикального стального резервуара (РВС) существенно сокращает объем необходимых ремонтных работ, уменьшает финансовые затраты и увеличивает долговечность резервуара. Такой подход также способствует повышению безопасности эксплуатации и предотвращению потенциальных проблем с конструкцией в будущем. Для резервуаров вместимостью 10000 м³ и более предусмотрено изготовление и установка стенок и днищ методом листовой сборки в соответствии со стандартами и чертежами. Однако в процессе монтажа могут возникать нарушения технологии сборки, приводящие к физическим воздействиям и деформациям отдельных элементов конструкции. В процессе монтажа и эксплуатации часто встречаются дефекты, такие как местные вмятины, выпуклости различных размеров и форм, а также отклонения цилиндрической стенки резервуара от вертикальной плоскости, которые чаще всего наблюдаются на участках стенки, примыкающих к замыкающему монтажному шву, соединяющему рулоны стенки, а также в зонах других сварных соединений. Иногда такие дефекты возникают в результате перегрузки резервуара вакуумом или избыточным давлением и в этом случае они обычно располагаются на участках примыкания стенки к кровле.

Научные труды Тюрина Д.В. [6] показывают, что одной из основных причин значительного снижения надежности эксплуатации РВС являются критические дефекты геометрии. Более половины всех ремонтных работ приходится на коррекцию этих дефектов. Исследование, проведенное Пимневым А.В. [4], указывает, что в практике ремонтов до 70 % вертикальных стальных резервуаров требуют коррекции геометрии стенки и днища, превышающей установленные нормативные значения. Для надлежащей оценки влияния этих дефектов на эксплуатационную надежность резервуара критической важности является построение модели резервуара, точно отражающей его геометрию и напряженно-деформированное состояние. Из научной работы С.Г. Абрамяна, О.В. Бурлаченко, В.В. Плешакова и О.В. Оганесяна [1] вытекает, что причинами дефектов, проявляющихся в процессе эксплуатации вертикальных стальных резервуаров и приводящих к их износу, главным образом являются ошибки в проектировании, изменения в эксплуатационных условиях, характере воздействия внешних нагрузок и нарушения в сечениях несущих конструкций резервуаров. Также критическим фактором является необходимость учета изменений прочностных характеристик элементов конструкций, возникающих в процессе долгосрочной эксплуатации.

Для моделирования резервуара рекомендуется применять комплексный подход к сбору данных, включающий лазерное сканирование с помощью специальных инструментов, таких как лазерные уровнемеры, измерительные ленты, угломеры и другие приборы, производятся измерения ключевых параметров резервуара, таких как диаметр, толщина стенок, высота, наклон и другие характеристики для создания трехмерной модели с высокой точностью [5].

Собранные данные о состоянии и восстановлении геометрии вертикального стального резервуара служат основой для создания точной компьютерной модели конструкции. Эта модель, разрабатываемая с применением программного обеспечения САЕ пакетов, позволяет провести виртуальные тестирования, анализировать ресурс и прочность резервуара, учитывать воздействие различных факторов на его работу и оптимизировать процессы обслуживания. Такое моделирование способствует принятию обоснованных решений, улучшает безопасность и эффективность эксплуатации, что важно при планировании дальнейших действий по управлению и техническому обслуживанию. Важно отметить, что при стандартном обнаружении отклонений геометрии используется ограниченное число точек для определения перемещений. Попытка построить поверхность стенки резервуара по этим точкам для последующего анализа в САЕ пакетах приводит к получению набора ломаных линий, которые отсутствуют в фактической геометрии стенки. Передача такой модели в расчет может привести к возникновению недостоверных расчетных напряжений в точках изломов. При этом сам объект, за исключением крупных дефектов, обладает более плавными линиями и формами [3]. Для решения данной проблемы предлагается строить более гладкую поверхность через интерполяционный многочлен Лагранжа. Данный многочлен – это полиномиальная функция, которая используется для приближенного описания или интерполяции набора точек данных. Он представляет собой полином наименьшей степени, проходящий через заданные точки данных. При моделировании часто используются многочлены Лагранжа, а не функции Лапласа из-за их различных применений и свойств. Многочлены Лагранжа являются полиномиальными интерполянтами, которые аппроксимируют или интерполируют набор точек данных, что полезно при приближении сложных функций или отображения данных в удобной форме с минимальной ошибкой. При моделировании резервуара вертикального стального типа РВС применение кусочно-непрерывной функции может привести к неточностям в отображении сложной геометрии резервуара, затрудняя анализ напряженно-деформационного состояния, усложняя расчет объемов и параметров, что делает ее менее подходящей по сравнению с интерполяцией для точного и достоверного моделирования резервуаров. Интерполяционный многочлен Лагранжа представляется формулой:

$$L(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x),$$

где $l_i(x)$ – базисный полином, y_i – количество узлов. Данный метод подразумевает интерполяцию для достижения точного соответствия функции заданным точкам данных, в отличие от аппроксимации, которая направлена на создание упрощенной модели данных, не обязательно проходящей через все точки, а скорее приближающей общие значения данных.

После восстановления геометрии резервуара проводится проверка целостности и точности модели. Сравнивается построенная геометрия виртуальной модели с оригинальной проектной геометрией для коррекции возможных ошибок.

Инженерный анализ модели включает оценку износа частей резервуара, проверку деформаций, коррозии и других повреждений, с использованием различных технологий. Учитываются условия эксплуатации и безопасность, характеризующие состояние и работу резервуара.

В заключении можно подчеркнуть, что качественное моделирование геометрии вертикального стального резервуара играет решающую роль в повышении точности прогнозирования возможных аварийных ситуаций и разработке регламентов безопасной эксплуатации резервуаров с накопленными искажениями геометрии стенки. В конечном итоге такое прогнозирование обеспечивает сокращение объема ремонтных работ, снижение финансовых затрат и увеличение срока эксплуатации сооружения. Этот подход также способствует повышению уровня безопасности эксплуатации, предотвращению потенциальных проблем с конструкцией и минимизации критических дефектов геометрии.

Литература

1. Абрамян С. Г. и др. Характерные дефекты и повреждения, снижающие эксплуатационную надежность стальных вертикальных резервуаров // Инженерный вестник Дона. – 2022. – №. 3 (87). – С. 260-269.
2. Дмитриева А. С. Оценка напряженно-деформированного состояния стального цилиндрического резервуара с дефектом типа "трещина" // Лучшая студенческая статья 2017. – 2017. – С. 40-45.
3. Калинин А. А. Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации. – 2021.
4. Пимнев А. Л. Разработка методики оценки несовершенств геометрической формы резервуаров при техническом диагностировании: дис. – Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2006.
5. Приказ Ростехнадзора «Об утверждении руководства по безопасности «Рекомендации по техническому диагностированию сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов» от 23.08.2023 № 305.
6. Тюрин Д. В. Моделирование вертикальных стальных резервуаров с несовершенствами геометрической формы // Дисс... канд. техн. наук. – 2003. – Т. 25. – С. 19.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА УЧАСТКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА

Корниенко Д.А.

Научный руководитель доцент Ю.С. Дубинов

ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», г. Москва, Россия

В данной работе рассматривается воздействие вынужденных колебаний (вибраций) на участки неметаллических трубопроводов с DN 25 из Стали 40, полипропилена, поливинилхлорида, полиэтилена низкого давления. Для имитации вибраций, возникающих в процессе эксплуатации трубопровода, был разработан стенд для проведения вибрационных испытаний (рис.1).



Рис. 1. Разработанный стенд для проведения вибрационных испытаний; (1 – генератор частот, 2 – кулер, 3 – низкочастотный вибрационный динамик, 4 – трос-демпфер, 5 – площадка фиксации образца, 6 – усилитель частот, 7 – стальная рама, 8 – виброметр ВК-5М).

С целью проведения комплексного исследования и выявления факторов влияющих на изменения основных параметров вибрации (виброускорение, виброскорость, виброперемещение), были испытаны образцы из вышеперечисленных материалов с различной степенью заполнения (0 %, 50 %, 100 %) растворами с различной плотностью (вода, глицерин).

В результате исследования были получены графики зависимости виброускорения, виброскорости и виброперемещения в зависимости от:

- материала участка трубопровода;
- среды, которой заполнен участок трубопровода;
- степени заполнения участка трубопровода.