

**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО
СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА**

Н.А. Никифоров, Ф.Р. Алиев

Научный руководитель - доцент К.К. Манабаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В статье производится расчет напряженно-деформированного состояния геометрической модели цилиндрического вертикального стального резервуара, созданной на основе данных о существующем РВС, от действия статических нагрузок с целью анализа наиболее напряженных областей стенки резервуара во время эксплуатации и воздействия на нее внешних сил. В результате была получена картина распределения полей эквивалентных напряжений.

Ключевые слова: вертикальный стальной резервуар (РВС), напряженно-деформированное состояние (НДС), прочность, жесткость, метод конечных элементов (МКЭ).

По мере развития нефтяной промышленности возросла потребность в хранении больших объемов нефти и продуктов её переработки. Резервуары служат для хранения, приема и отпуска нефтепродуктов, щелочей, химических веществ, дизельного топлива, воды и других жидкостей в различных климатических условиях. Вопрос экологической обстановки местности, где располагается нефтебаза и резервуарные парки, зависит от их правильной работы и надежности при эксплуатации. На этапах проектирования и сооружения обеспечивается нужная степень надежности цилиндрического РВС, которая осуществляется на этапе эксплуатации [6,7,8].

Аварии резервуаров с последующей разливкой нефти и нефтепродуктов наносят прилегающей территории огромные экологические загрязнения. Экономический ущерб предприятия включает не только потери продукта, но и большие затраты на восстановление окружающей среды и восполнение запаса потерянных продуктов.

Как известно с практической точки зрения, сохранить углеводородное сырье является сложной задачей, точно также, как и создать идеальные условия для хранения нефтепродуктов различного вида. Это связано с тем, что эти продукты имеют характерные качества, усложняющие процесс добычи, транспортировки и хранения.

В настоящее время по всему миру наиболее распространены вертикальные стальные виды нефтяных резервуаров. Проектирование РВС на территории Российской Федерации регламентируется межгосударственным стандартом ГОСТ 31385-2016 [1] и стандартом СТО-СА-03-002-2009 [2].

Аналитический расчет резервуара связан с безмоментной теорией оболочек [9,10,11,12], т.к. такой объект представляет собой вертикальную оболочку с днищем. При всем этом, существенно меняется симметрия конструкции из-за наличия геометрических особенностей (наличие в конструкции люков, штуцеров, отверстий, изменение элементов конструкции по сечению и т.д.). Поэтому при расчете распределения напряжений и деформаций в локальных зонах, необходимо использовать технологии численных расчетов, поскольку аналитические методы в данном случае бессильны.

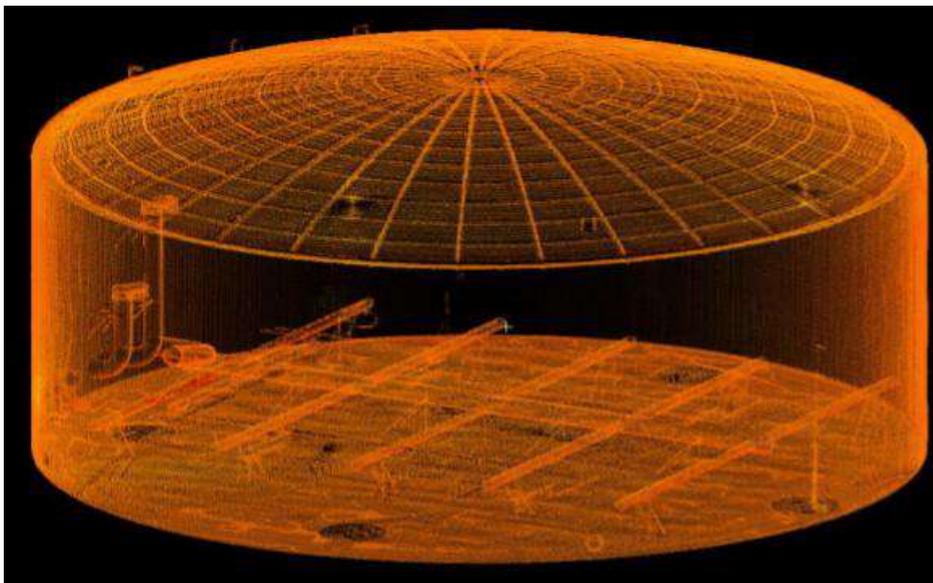


Рис. 1 РВС-10000

Постановка задачи

Проведем расчет напряженно-деформированного состояния вертикального резервуара с помощью программного комплекса ANSYS.

Для расчета методом конечных элементов была сконструирована аппроксимационная модель вертикального цилиндрического стального резервуара с номинальным объемом 10000 куб. м. (рис 1). Диаметр резервуара составляет 34,2 м, высота стенки – 11,92 м, количество поясов стенки – 8. Толщина стенки первого

пояса – 14 мм, 2-8 – 12 мм. Листы стенки выровнены по внутреннему краю. Сталь из которого изготовлен резервуар – 09Г2С (аналог стали С345) [2]. Расчетный уровень налива продукта при эксплуатации – 11,2 м, плотность продукта – 0,8 т/м³. Резервуар укомплектован каркасной сферической стационарной крышей сетчатого исполнения, толщина которого равна 6 мм. Также учитывался вес конструкции.

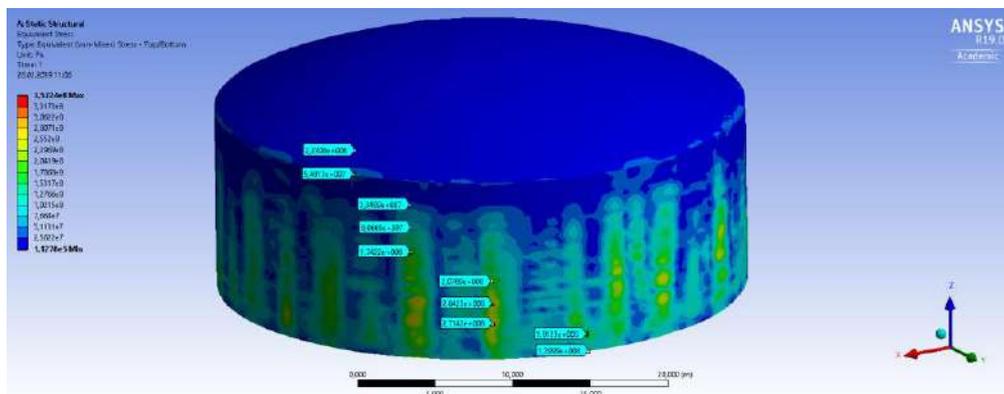


Рис. 2 Распределение эквивалентных напряжений на стенку резервуара

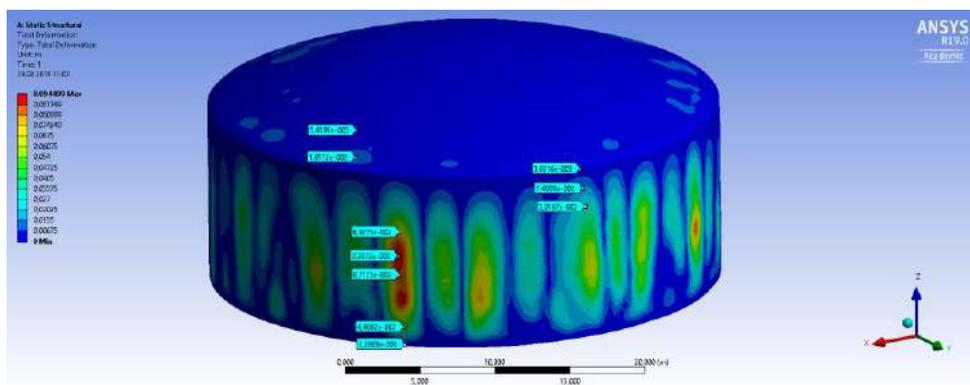


Рис. 3 Деформация стенки резервуара

Анализ результатов

В результате численного эксперимента получили значения эквивалентных напряжений по критерию Мизеса. Распределение напряжений по высоте стенки резервуара представлено на (рис 2).

Анализ результатов показывает, что условие прочности выполняется для всех поясов стенки. Среднее значение эквивалентных напряжений составляет 178,68 МПа и находится в пределах допустимого значения ($\sigma_m=325$ МПа). Также были рассмотрены общие деформации конструкции (рис 3), где максимальные значения располагаются вблизи третьего и четвертого пояса оболочки конструкции.

Выводы

Исходя из полученных при расчете модели данных, видим, что наибольшему напряжению и деформации преимущественно подвергаются места стыков листов, это показывает, что в этих местах образуются местные концентраторы напряжений. В этих областях высока вероятность появления дефектов. Следует отметить, что в процессе эксплуатации на резервуары действуют различные статические, малоцикловые, снеговые и ветровые нагрузки, воздействие температуры и агрессивной рабочей среды, приводящие к изменению геометрической формы конструкции. [4,5]. В последствии существенно заметны снижение несущей способности конструкции, уменьшение эксплуатационной надежности и сокращение долговечности резервуарной конструкции. В отличие от стандартного метода расчета на прочность и жесткость, метод численного моделирования позволяет разработать геометрическую модель и создать соответствующую конечно-элементную аппроксимацию на этапе проектирования.

Литература

1. ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов.
2. ГОСТ 5520-2017 Прокат толстолистовой из нелегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия.
3. СТО-СА-03-002-2009 Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.
4. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*».
5. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

6. Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ. Составители: Крец В.Г., Шадрина А.В., Антропова Н.А. Учебное пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 2012. – 386 с.
7. Лапшин, А. А. и др. Конструирование и расчёт вертикальных цилиндрических резервуаров низкого давления: учебное пособие / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Н. Новгород, ННГАСУ, 2009. – 122 с.
8. Николаев Н.В., Иванов В.А., Новоселов В.В. Стальные вертикальные резервуары низкого давления для нефти и нефтепродуктов: учебник для вузов. – Изд-во ООО "ЦентрЛитНефтеГаз", 2007. – 492 с.
9. Самогин Ю.Н., Хроматов В.Е., Чирков В.П. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов / Под ред. В.П. Чиркова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 200 с. – ISBN 978-5-9221-1380-9.
10. Светашков А.А. Элементы теории упругости: учебное пособие / А.А. Светашков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 164 с.
11. Светашков А.А., Куприянов Н.А., Манабаев К.К. Эффективные по времени вязкоупругие модули типа Хашина-Штрикмана // Физическая мезомеханика. — 2013. — Т. 16, № 2. — С. 33-39.
12. Светашков А.А., Куприянов Н.А., Манабаев К.К. Модификации эффективных модулей типа Хашина-Штрикмана для двухкомпонентного изотропного композита // Физическая мезомеханика / Российская академия наук (РАН), Сибирское отделение (СО), Институт физики прочности и материаловедения (ИФПМ). — 2015. — Т. 18, № 6. — С. 57-65.

АНТИПОМПАЖНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРАХ

М.В. Попов

Научный руководитель - профессор Л.А. Саруев

Национальный исследовательский Томский Политехнический университет, г. Томск, Россия

Помпаж – вредное явление, которое может сформироваться в лопастных нагнетателях, состоящее в том, что непрерывный поток подаваемого газа нарушается и становится нерегулярным или пульсирующим (в том числе и знакопеременным).

Помпаж в разных условиях проявляется с различной интенсивностью. От едва заметных изменений подачи, производительности и мощности до значительных резких изменений, опасных для нагнетательной установки, трубопроводной системы и контактирующих с ними установок и агрегатов. В случае формирования автоколебательного процесса усилить последствия помпажа могут резонансные явления. Известны случаи разрушения машин и трубопроводов.

Таким образом, под помпажом понимается неустойчивый режим работы нагнетателя, который характеризуется резкими колебаниями давления (напора) и расхода перекачиваемой среды [1].

Помпажу подвержены компрессоры кинетического сжатия (осевые и центробежные). При помпажном режиме резко ухудшается газодинамика проточной части компрессора, в результате чего он не сможет создавать требуемый напор, но при этом, давление за ним на некоторое время останется высоким. В результате может произойти обратный проброс газа. Давление за компрессором уменьшится, он снова будет развивать напор, но при отсутствии расхода напор резко упадет, и ситуация повторится. При помпаже вся конструкция испытывает большие динамические нагрузки, которые могут привести к ее разрушению.

Для предотвращения возникновения помпажа предусматривается применение специальных противопомпажных устройств. Например, клапанов, настроенных на перепуск газа во всасывающий патрубок компрессора при уменьшении производительности до границы помпажа. При определенных условиях возможен выпуск перемещаемого газа в атмосферу. Контроль достижения границы помпажа осуществляется по расходу газа в трубопроводе или по уровню давления.

В общем случае газодинамическая устойчивость работы нагнетателя может быть оценена по положению его рабочей точки относительно границы помпажа – линии, представляющей совокупность точек начала автоколебательных процессов на характеристиках, представленных для различных чисел оборотов компрессора. При нахождении рабочей точки левее границы помпажа (при низкой производительности), компрессор входит в помпаж. Правее линии границы помпажа на определенном расстоянии, характеризующем помпажный запас, находится линия регулирования – линия, относительно которой рабочая точка не должна уходить влево.

Задачей антипомпажной защиты и регулирования является поддержание помпажного запаса на заданном уровне, обнаружение помпажного состояния и вывод компрессора из зоны помпажа. Поддержание помпажного запаса достигается за счет оперативного частичного открытия антипомпажного клапана (АПК) при достижении рабочей точкой линии регулирования или же при быстром приближении к ней. Причем если рабочая точка достигает линии регулирования, то она удерживается на ней. Степень открытия антипомпажного клапана (АПК) определяется контуром управления антипомпажного регулирования [2].

Для устранения или предупреждения помпажа применяется частичное или полное открытие АПК, после чего осуществляется плавное закрытие регулирующего органа, и рабочая точка нагнетателя выводится к линии регулирования.

Таким образом, сущность антипомпажного регулирования заключается в управлении и контроле положением рабочей точки газодинамической системы по отношению к линии границы помпажа. Следовательно, необходимо рассмотреть существующие способы управления работой нагнетателей.

Управление – совокупность действий, выбранных на основании определенной информации и направленных на поддержание на заданном уровне или изменение в соответствии с целевой функцией параметров работы установки или системы в целом. Управляющая совокупность действий при изменении