

РАСЧЕТ ФЛАНЦЕВЫХ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.Д. Дубровский¹, О.А. Ласовская²

Научный руководитель - доцент К. К. Манабаев

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

В статье произведен анализ напряженно-деформированного состояния расчетной модели фланцевого соединения нефтепровода при гидроударе. Расчет реализован посредством программного комплекса метода конечных элементов ANSYS. В результате расчета получены картины полей распределения эквивалентных напряжений и значения перемещений.

В настоящее время фланцевые соединения прочно связаны с трубопроводным транспортом. Их удобство в установке и надежность использования не оставляют шансов другим типам разъемных соединений. Однако высокая стоимость призывает к тщательному моделированию ситуаций, в которых будет применяться данный тип соединений. Одним из параметров, который следует учитывать при проектировании трубопровода – каким образом распределяются напряжения в теле нефтепровода и фланцевом соединении в случае гидроудара.

Скорость потока транспортируемой среды принимаем равной 2 м/с., а время закрытия задвижки – 1 с. Технические характеристики фланцевого соединения приведены в таблице 1.

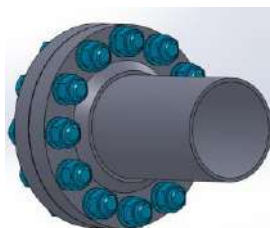
Таблица 1

Размеры во фланцевом соединении для условного давления 10 Мпа [1]

Условный диаметр фланца, мм	Внешний диаметр фланца, мм	Диаметр отверстий для болтов, мм	Количество отверстий для болтов, шт	Номинальный диаметр болтов, мм	Диаметр нефтепровода, мм
200	430	39	12	36	219
Толщина фланца, мм	Толщина заглушки, мм	Марка стали	Предел текучести для стали, МПа	Предел прочности для стали, МПа	Толщина стенки нефтепровода, мм
52	50	13ХФА	353	502	8



а



б

Рис. 1 Модель фланцевого соединения с заглушкой, а – натурная модель, б - пространственная 3-D модель

В решении задачи приняты следующие допущения:

задача определения НДС реализуется в статической постановке, значение нагрузок от гидроудара получено при помощи динамического коэффициента.

трубопровод полностью заполнен транспортируемой жидкостью.

Давление при испытании согласно технической литературе по обслуживанию и эксплуатации трубопроводов находится по формуле, размерность МПа обозначены через МПа [2]:

$$P_u = \frac{2 \cdot S \cdot R}{D_{внеш}} = \frac{2 \cdot 8 \cdot (353 \cdot 0,95)}{(219 - 8 \cdot 2)} = 26 \text{ МПа} ,$$

где S – толщина стенки нефтепровода, мм; R – расчетное значение окружных напряжений в стенке нефтепровода, принимаемое равным 95% нормативного предела текучести (для стали 13ХФА равен 353 МПа), МПа; $D_{внеш}$ – внешний диаметр трубы, мм.

Если P_u превышает 12 МПа и диаметр нефтепровода меньше 273 мм., то давление при испытании P_u следует принять за 12 МПа [2].

Ускорение, с коротким транспортируемая среда останавливается:

$$a = \frac{v_k - v_n}{t} = \frac{0 - 2}{1} = -2 \text{ м/с}^2 ,$$

где v_k – конечная скорость транспортируемой среды, м/с; v_n – начальная скорость транспортируемой среды, м/с; t – время закрытия задвижки, с.

Таким образом, нагрузка во время гидроудара с учетом динамического коэффициента равна:

$$P_{дин} = P_u \cdot \left(1 + \frac{a}{g}\right) = 12 \cdot \left(1 + \frac{2}{9,8}\right) = 14,4 \text{ МПа} ,$$

где a – замедление транспортируемой среды, m/s^2 ; g – ускорение свободного падения, m/s^2 .

На основе пространственной геометрической модели создана расчетная конечно-элементная модель путем дискретизации расчетной области. Количество элементов модели составляет 66477.

В расчетной модели применены следующие граничные условия (Рис. 2): на поверхность заглушки А воздействует давление $P=14,4$ МПа. К торцевым граням нефтепровода, поверхность В, применено условие жесткой заделки.

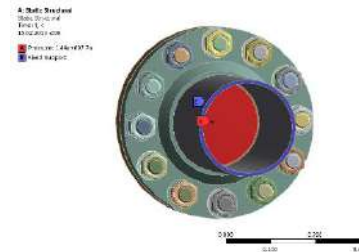


Рис. 2 Заделка

На рисунках 3-4 представлена картина распределения полей эквивалентных напряжений по критерию Мизеса. Максимальные напряжения расположены вблизи контакта тела нефтепровода с фланцем и равны 119 МПа. В отдельном болтовом соединении максимальные напряжения расположены на шайбе с внешней стороны заглушки и равны 22 МПа.

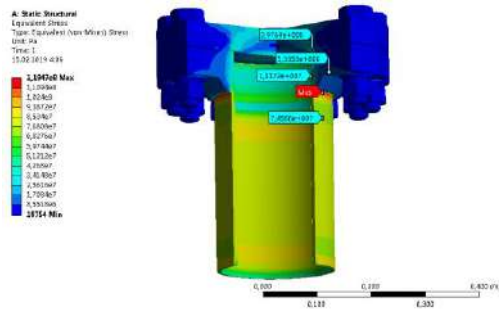


Рис. 3 Распределение полей эквивалентных напряжений с боковой стороны рассматриваемой сборки

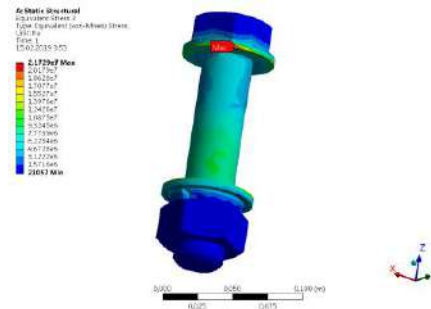


Рис. 4 Болтовое соединение

Выводы

1) Исходя из полученных при расчете модели данных, выяснили коэффициент запаса для фланцевого соединения – 2,97 ($\sigma_{max} \div \sigma_m = 353 \div 119 = 2.97$), для отдельного болтового соединения – 16 ($\sigma_{max} \div \sigma_{mb} = 353 \div 22 = 16$).

2) Анализ напряженно-деформированного с использованием МКЭ позволяет провести оценку надежности оборудования и способствует созданию цифрового двойника изделия.

Литература

1. АТК 24.200.02.90 «Заглушки фланцевые стальные. Конструкция, размеры и технические требования»;
2. ГОСТ 31447 - 2012 «Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия (с Поправкой)»;
3. Svetashkov A.A., Manabaev K.K., Vakurov A.A., Miciński J. Calculation by iterative method of linear viscoelastic plate under biaxial tension // iop conference series: materials science and engineering. — Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2016. — С.12-78.
4. Manabaev K., Pavlov M., Kazakova O., Vakurov A. The implementation of algorithm iterative conversion for three-component composite on the example of solution of the bending plate problem // key engineering materials. — 2017. — № 743. — С. 212-216.