

А.Е. Ефимов

РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКЕ ФУНДАМЕНТА

Приведены результаты прочностного анализа стенки и днища резервуара для хранения нефти объемом 100 тыс. м^3 при осадке одной фундаментной плиты под резервуаром, наполненным продуктом.

Моделирование проводилось на базе ВК ANSYS. Расчетная модель представляет собой конечно-элементную сетку, включающую оболочечные и контактные элементы. Размеры расчетной модели превосходят размеры зон краевого эффекта для стенки резервуара в окружном и вертикальном направлениях

Граничные условия для отсеченной в окружном направлении части резервуара соответствуют геометрическим условиям регулярности.

Часть днища резервуара, не опирающаяся на фундаментное кольцо, при моделировании рассматривалась лежащей на упругом основании. Жесткость основания рассчитывалась как

$$k = \frac{P}{S},$$

где $P = 175,1 \text{ кПа}$ - среднее давление под подошвой фундамента;
 $S = 1,49 \text{ см}$ – общая осадка под резервуаром.

$$k = \frac{175,1 \cdot 10^3}{0,0149} = 11,75 \cdot 10^6 \text{ Па/м.}$$

При расчете учитывались нагрузки, создаваемые гидростатическим давлением жидкости плотностью 1000 кг/м^3 на стенку и днище при расчетном уровне налива в режиме гидравлических испытаний ($18,7 \text{ м}$), собственным весом конструкций, включенных в модель. По линии, ограничивающей стенку в вертикальном направлении, приложена распределенная нагрузка, создаваемая весом вышележащих поясов резервуара и колец жесткости.

При моделировании материала использовалась упруго-пластическая модель с билинейной диаграммой деформирования, соответствующей механическим свойствам стали 09Г2С.

Тангенс угла наклона пологого участка диаграммы вычислялся как

$$E_2 = (\sigma_B - \sigma_\tau) / \left(\frac{\Delta}{100} - \frac{\sigma_\tau}{E} \right),$$

где σ_B - временное сопротивление; σ_τ - предел упругости; Δ - предельное относительное удлинение в процентах; E – модуль упругости первого участка диаграммы.

$$E_2 = (485 \cdot 10^6 - 345 \cdot 10^6) / \left(\frac{21}{100} - \frac{345 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^{11}} \right) = 672 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Решение нелинейной задачи проводилось в два этапа. На первом этапе были приложены все нагрузки при неподвижном фундаментном кольце. На втором этапе подвижная часть фундаментного кольца была опущена вертикально вниз на 15 мм.

Максимальные эквивалентные напряжения на срединной поверхности днища резервуара составляют 93 МПа, максимум напряжений в крайних слоях окрайки при этом достигает величины 367 МПа.

В результате расчетов показано, что величина эквивалентных напряжений на срединной поверхности оболочки резервуара не превосходит величины допускаемых напряжений, хотя напряжения в крайних слоях оболочки окрайки и стенки резервуара превышают предел упругости.

Так как расчет на прочность стенки резервуара по требованиям ПБ 03-605-03 и API Standard 650 проводится по мембранным напряжениям без учета краевого эффекта, то можно сделать вывод о том, что осадка фундаментного блока на 15 мм является допустимой и не приведет к потере несущей способности резервуара.