

Исследование напряженно-деформированного состояния фундамента вертикального резервуара с учетом динамики эксплуатационных нагрузок

А.Ю. Прокопов, К.Э. Ткачева

Ростовский государственный строительный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) фундамента под вертикальный стальной резервуар при последовательном действии нагрузок при возведении и эксплуатации.

Ключевые слова: фундамент, резервуар, грунт, напряженно-деформированное состояние, заполнение, объемная модель, шаговый метод последовательных нагружений, зависимости, модуль деформации.

В настоящее время в период эксплуатации вертикальных стальных резервуаров (далее РВС) наблюдается тенденция роста аварийных ситуаций, связанных с потерей несущей способности отдельных элементов, потерей устойчивости и неравномерными осадками основания [1-3, 6-12]. Причинами возникновения таких ситуаций могут быть ошибки в проектировании, брак строительно-монтажных работ, изменение гидрогеологических условий на площадке эксплуатируемого РВС, а также нагрузки, не учитываемые на стадии проектирования, к которым можно отнести многократно повторяющиеся в период эксплуатации нагрузки от давления хранимого продукта при заполнении и опорожнении резервуара.

Для оценки напряженно-деформированного состояния (далее НДС) фундамента под РВС с учетом влияния нагрузок от веса хранимых продуктов при заполнении резервуара авторами выполнено численное моделирование на объемных конечно-элементных моделях в ПК «Лира»[4, 5].

К моделированию был принят фундамент под резервуар для хранения нефтепродуктов вместимостью 5 тыс.м³, представленный монолитной железобетонной плитой диаметром 20 м, толщиной 500 мм с монолитным

железобетонным ребром (кольцом) под стенкой резервуара высотой 1 м и шириной 2 м с выступами за пределы стенки резервуара на 1 м и устройством песчаной подушки внутри кольца.

Расчет выполнен шаговым методом последовательных нагружений с учетом изменения расчетной схемы на каждом шаге приложения нагрузки[5]. На 1-м шаге моделируется нагрузка от веса фундамента, 2-й шаг – моделируется добавление нагрузки от веса конструкций резервуара при его сооружении (стены, днища и крыши), 3-й шаг – добавление нагрузки от давления нефтепродуктов при заполнении резервуара.

Грунтовое основание моделировалось сплошной, однородной, упруго-пластической средой, предусматривающей образование зоны упругих деформаций, в которой распределение напряжений подчиняется закону Гука, и зоны пластических деформаций, в которой распределение напряжений происходит в соответствии с условием предельного состояния Кулона-Мора.

Нагрузка от веса конструкций резервуара прикладывалась к железобетонному ребру на расстоянии 1 м от края по периметру опирания стенки на ребро. Нагрузка от давления нефтепродуктов при моделировании заполнения представлена равномерно распределенной по днищу резервуара. Для расчета величины нагрузки принята средняя плотность нефтепродуктов 870 кг/м^3 .

Для построения моделей использовались физически нелинейные конечные элементы (КЭ): для фундамента – КЭ №236 и №234, для грунтов – КЭ №276 и №274, предназначенные для моделирования работы грунта на сжатие с учетом сдвига в соответствии с теорией прочности Кулона-Мора.

Оценка НДС производилась для разных инженерно-геологических условий (основание было представлено суглинками, супесями и глинами), и разных характеристик материала фундамента (при использовании бетонов В15, В20 и В25).

Анализ результатов расчета показал, что во всех исследуемых случаях происходит увеличение напряжений в фундаменте при приложении нагрузки от веса конструкций резервуара (2-й шаг нагружения) и снижение напряжений при моделировании заполнения резервуара нефтепродуктами (3-й шаг нагружения). При этом при моделировании возведения металлоконструкций резервуара максимальные напряжения в фундаменте зафиксированы в кольцевой части под стенкой резервуара, а при заполнении резервуара нефтепродуктами максимальные напряжения наблюдались в плитной части. Максимальные значения напряжений в фундаменте зафиксированы при моделировании из бетона класса В25, а максимальные изменения напряжений в фундаменте отмечены при моделировании из бетона В15. В грунтах максимальные значения напряжений зафиксированы в глинах. Максимальные изменения напряжений в грунтах на 1-м шаге нагружения зафиксированы в супеси, на 2-м – в суглинках. Максимальные изменения напряжений в грунтах на 3-м этапе нагружения отмечены в суглинках при моделировании фундамента из бетона В15 и в глинах, при моделировании фундамента из бетона классов В20 и В25.

В результате расчета были найдены зависимости максимальных напряжений в фундаменте от модуля деформации бетона и модуля деформации грунтов для каждого шага нагружения (табл. 1).

Таблица № 1

Зависимости максимальных напряжений в фундаменте от модуля деформации бетона и модуля деформации грунтов

Этап	Зависимость
I – сооружение фундамента	$\sigma = 0,004E_B - 0,002E_G + 1,1$
II – сооружение металлоконструкций	$\sigma = 1,07E_B - 0,003E_G + 7,8$
III – заполнение нефтепродуктами	$\sigma = 1,05E_B - 0,003E_G + 9,1$

Изменение напряжений в фундаменте на разных этапах нагружения в большей степени зависит от деформационных характеристик материала фундамента.

Характер изменения напряжений при сооружении резервуара и при заполнении нефтепродуктами будет зависеть от конструктивных параметров резервуара, его диаметра и вместимости, с учетом которых рассчитывается нагрузка от веса нефтепродуктов.

При многократном опорожнении и заполнении резервуара нефтепродуктами напряжения в фундаменте и элементах конструкции могут возрастать.

Важно отметить, что неравномерная осадка основания, осадка типа «крен», и, как следствие, смещение центра тяжести, могут привести к неравномерному распределению нагрузки от давления хранимого продукта в опорной поверхности фундамента в местах контакта с днищем резервуара и к увеличению напряжений в стенке и соединительных узлах уторного шва.

Литература

1. Волчков А.Р. Фундаменты вертикальных стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. №4(16). С. 52-56.

2. Мансурова С.М., Тляшева Р.Р., Ивакин А.В., Шайзаков Г.А., Байрамгулов А.С. Оценка напряженно-деформированного состояния стального цилиндрического резервуара с учетом эксплуатационных нагрузок // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2014. №1. С. 329-343.

3. Оленев Н.М. Хранение нефти и нефтепродуктов. М.: Недра. 1964. 429с.

4. Прокопов А.Ю., Акопян В.Ф., Гаптлисламова К.Н. Изучение напряженно-деформированного состояния грунтового массива и взаимного



влияния подземных конструкций существующих и вновь возводимых сооружений в береговой зоне морского порта Тамань // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2104

5. Прокопова М.В., Ткачева К.Э., Васьковцова Я.С. Моделирование работы конструкций с учетом этапности возведения // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Вып. 17. Донецк: Норд-Пресс, 2011. С. 45-47.

6. Сильницкий П.Ф., Тарасенко М.А., Тарасенко А.А. Расчет фундаментного кольца с дефектами // Нефть и газ. 2011. №5. С. 75-77.

7. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Эволюция взглядов на вопросы определения величины допустимых осадок резервуаров // Фундаментальные исследования. 2014. №12. С. 67-84.

8. Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований.— М.: АСВ. 2009. 336 с.

9. Чирков С.В., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Конечно-элементная модель вертикального стального резервуара с усиливающими элементами при его подъеме гидродомкратами // Фундаментальные исследования. 2014. № 9. С. 1003-1007.

10. Чмшкян А.В. Взаимодействие конического штампа с неоднородным основанием // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4, Ч. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1391.

11. Khmeleva A.I. Foundations of vertical steel tanks for oil and oil products // Modern scientific researches and innovations. 2015. № 5. pp. 60-66.

12. Tarasenko A.A., Silnitskiy P.F., Tarasenko D.A. The problems of designing the heat insulation for bases of vertical steel cylindrical tanks constructed in the cryolithozone/ Tenth International conference on permafrost. TICOP. Resources and risks of permafrost areas in a changing world Proceedings. 2012. pp. 583-584.

References

1. Volchkov A.R. Nauka i tehnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov. 2014. №4 (16). pp. 52-56.
2. Mansurova S.M., Tljasheva R.R., Ivakin A.V., Shajzakov G.A., Bajramgulov A.S. Neftegazovoe delo. 2014. №1. pp. 329-343.
3. Olenev N.M. Hranenie nefiti i nefteproduktov [Storage of oil and oil products]. M. Nedra. 1964. 429p.
4. Prokopov A.Ju., Akopjan V.F., Gaplislamova K.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2104.
5. Prokopova M.V., Tkacheva K.E., Vas'kovcova Ja.S. Sovershenstvovanie tehnologii stroitel'stva shaht i podzemnyh sooruzhenij. Vyp. 17. Doneck. Nord-Press. 2011. pp. 45-47.
6. Sil'nickij P.F., Tarasenko M.A., Tarasenko A.A. Neft' i gaz. 2011. №5. pp. 75-77.
7. Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental'nye issledovanija. 2014. №12. pp. 67-84.
8. Fundamenty stal'nyh rezervuarov i deformacii ih osnovanij [Foundations for steel tanks and strain their bases]. M. ASV. 2009. 336 p.
9. Chirkov S.V., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental'nye issledovanija. 2014. № 9. pp. 1003-1007.
10. Chmshkjan A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2012. № 4. Ch. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1391.
11. Khmeleva A.I. Foundations of vertical steel tanks for oil and oil products. Modern scientific researches and innovations. 2015. № 5. pp. 60-66.
12. Tarasenko A.A., Silnitskiy P.F., Tarasenko D.A. The problems of designing the heat insulation for bases of vertical steel cylindrical tanks constructed in the cryolithozone. Tenth International conference on permafrost.



TICOP. Resources and risks of permafrost areas in a changing world Proceedings.
2012. pp. 583-584.