

О расчете осадки грунтов основания фундаментов стального резервуара

С.М. Черкасов, Е.В. Кириллова, А.Н. Винуцкий

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье приведен анализ причин деформаций стального резервуара, построенного на слабых водонасыщенных сильносжимаемых глинистых грунтах. Представлены результаты расчетов грунтов основания по деформациям и сравнение с данными геодезических наблюдений.

Ключевые слова: фундамент, стальной резервуар, грунт, гидравлические испытания, деформации, крен, осадка.

Базой для развития новых или уточнения существующих методов расчета грунтовых оснований являются экспериментальные данные о распределении напряжений и перемещений в массиве грунта [1- 6].

Такие данные были получены при анализе причин деформации стального резервуара для хранения мелассы на одном из сахарных заводов в Краснодарском крае.

Авторы в составе группы специалистов кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» ДГТУ под руководством д.т.н. профессора А.Ю. Прокопова принимали участие в исследовании причин деформаций и назначения комплекса мероприятий, необходимых для обеспечения безопасной эксплуатации стального резервуара для хранения мелассы емкостью 5000 м³.

Стальной резервуар (рис. 1) был построен в июле 2015 г. по типовому проекту. Он смонтирован на кольцевом железобетонном фундаменте из бетона марки В15, имеющем следующие габариты: наружный диаметр кольца $D_{нар} = 23,72$ м, внутренний диаметр кольца $D_{внут} = 19,72$ м, высота фундамента $h = 0,3$ м.

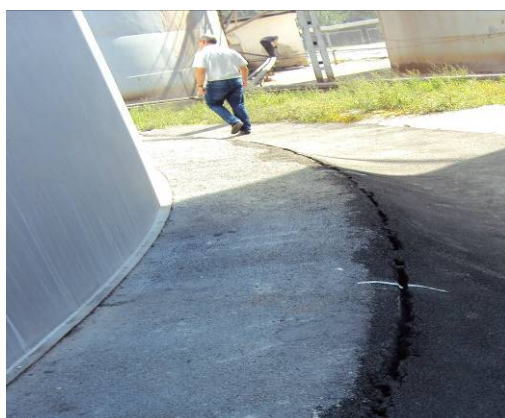
Грунтами основания фундаментов до глубины 20,0 м служат техногенные грунты, слабые водонасыщенные супеси и суглинки. В интервале глубин 10 -15 м залегает галечниковая прослойка.



Рис. 1. – Общий вид объекта

Для уменьшения величины возможных деформаций грунтов и более равномерной передачи нагрузки на основание, сразу под подошвой фундамента двухметровый слой техногенных грунтов заменен на песчаную подушку.

В результате гидравлических испытаний резервуара были получены деформации, нарушившие возможность его нормальной эксплуатации. Резервуар накренился на 125 мм. Максимальная относительная осадка и прогиб металлического днища, замеренные геодезическими методами, составили, соответственно, 248 и 247 мм, что превышает предельно допустимую величину $S_u = 20$ см. Деформации резервуара показаны рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. – Деформации резервуара: а – трещины отрыва в отмостке;
б – отклонение резервуара от вертикали

Изучение проектной, исполнительной документации и натурное обследование объекта позволили сделать ряд выводов о причинах деформации резервуара и предложить ряд мер для обеспечения его эксплуатационной пригодности.

Проектом привязки резервуара в основании кольцевого фундамента предусмотрено устройство уплотненной песчаной подушки толщиной 2,5 м. Проектное решение резервуара показано на рис.3.

Принятие этого решения обосновано расчетом по деформациям, регламентированным СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».

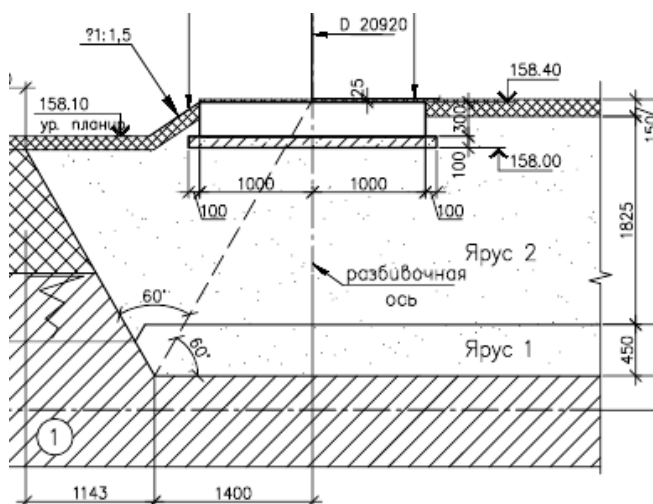


Рис.3 – Проектное решение устройства кольцевого фундамента резервуара

Для расчета осадки основания фундаментов проектировщиками использовались компрессионные значения модулей общей деформации, увеличенные с учетом поправочных коэффициентов.

Так, для суглинков ИГЭ-1, ИГЭ-3, ИГЭ-5 при значениях компрессионных модулей равных, соответственно, 2,4, 4,7 и 3,8 МПа, за расчетные были приняты компрессионные модули с учетом поправочных коэффициентов, значения которых для суглинков ИГЭ-1, ИГЭ-3, ИГЭ-5 составили, соответственно 5,5, 20,1 и 16,4 МПа.

Такое резкое увеличение значений модулей деформации для грунтов, имеющих консистенцию от туго- до мягкопластичной, вызывает сомнение, тем более «Справочником проектировщика» [7] рекомендовано: «для слабых водонасыщенных грунтов с модулем деформации $E_0 \leq 7,0$ МПа использовать компрессионные значения».

Кроме того, из теории и многочисленных экспериментальных исследований [8, 9] известно, что при загрузке больших площадей равномерно распределенной нагрузкой, компрессионный модуль деформаций дает при расчетах более достоверное значение осадки. Это происходит потому, что в центре массива большой площади загрузки грунты обжаты со всех сторон и деформируются без возможности бокового расширения, т.е. возникает ситуация, моделируемая в одометре компрессионного прибора.

Расчетная осадка в варианте с использованием значений компрессионных модулей деформации составила $S = 26,97 > 20$ см и превысила допустимую по нормам. Для сравнения: у проектировщиков величина осадки составила $11,65 < 20$ см, что и послужило причиной выбора некорректного варианта фундирования.

Это проектное решение тем более кажется необоснованным, если принять во внимание тот факт, что три рядом построенные аналогичные резервуара имеют свайные фундаменты.

Проектом привязки предусмотрено устройство уплотненной песчаной подушки толщиной 2,5 м, которая должна была воспринимать, перераспределять и сделать нагрузку равномерно распределенной по всей площади резервуара, а не сконцентрированной под кольцом.

Обследование показало, что качество уплотнения песчаной подушки не соответствует заявленным проектировщиком требованиям и ни один из слоев

суглинка и песка и подушка в целом, не были уплотнены до значений, соответственно, $\rho_d = 1,65 \text{ г/см}^3$ и $\rho_d = 1,70 \text{ г/см}^3$, требуемых по проекту.

Гидравлические испытания, которые были проведены в один этап и в очень короткий срок – 8 дней, также явились одной из основных причин неравномерных деформаций, нарушивших возможность его нормальной эксплуатации. Испытания проводились по обычной схеме, абсолютно не учитывающей особенностей залегающих в основании слабых водонасыщенных сильносжимаемых глинистых грунтов.

Статистический анализ длительных наблюдений за развитием осадок резервуаров [7] свидетельствует о том, что в первый год эксплуатации осадка развивается на величину «до 70 % от стабилизированной, а неравномерность осадки формируется в период гидравлического испытания и в первые месяцы эксплуатации». Неправильно проведенные испытания только подтвердили эту статистику. В то же время, в мире существует немало примеров построенных и нормально эксплуатируемых резервуаров, расположенных на структурно-неустойчивых и слабых водонасыщенных глинистых грунтах.

Для прогноза дальнейшего развития деформаций, определения максимально возможной величины осадки основания фундаментов и разработке мероприятий по обеспечению дальнейшей эксплуатационной пригодности резервуара был проведен ряд исследований, а именно:

–дополнительный отбор образцов грунта из песчаной подушки для лабораторных испытаний и определения их свойств после произошедшего уплотнения под нагрузкой;

–поверочные расчеты по различным методикам величин появившихся и еще возможных деформаций грунтов основания;

–сравнение с данными геодезических наблюдений.

В соответствии с нормативными документами (СП 22.13330.2011) для расчета оснований фундаментов применяют расчетную схему в виде

линейно-деформируемого полупространства с условным ограничением глубины сжимаемой толщи. Однако в случае с резервуарами результаты этого расчета редко совпадают с данными натурных измерений.

Для определения величины возможной осадки грунтов основания фундамента рассматриваемого резервуара был выполнен ряд вариантов расчета:

–по методике (СП 22.13330.2011) с использованием значений модулей деформаций E_0 , использованных проектной организацией;

–по методике (СП 22.13330.2011) с использованием компрессионных значений модулей деформаций E_k , полученных проектной организацией и дополнительных - кафедрой ИГОФ ДГТУ;

–в программном комплексе «Foundation – 13.2»;

–по методике, предложенной П. А. Коноваловым [7]

–по методике, предложенной П. А. Коноваловым [7,10] с учетом монолитного железобетонного кольца по периметру резервуара.

Результаты расчетов приведены в табл.1.

Таблица 1

Результаты расчетов осадки резервуара

№п/п	Метод расчета	Максим. возможная осадка, см	Прогнозируемая, см	Проявившаяся (по расчету), см
1	по СНиП	46,72	16,90	29,82
2	НИИОСП (по П. А. Коновалову)	47,53	17,17	30,36
3	Программа «Foundation – 13.2»	44,21	17,59	26,62
4	НИИОСП (по П. А. Коновалову) с учетом ж/б кольца	17,98	17,98	-

Из таблицы 1 следует:

–на момент проектирования и строительства осадка грунтов основания составляла, ориентировочно, 44,21 – 47,53 см;

–в процессе гидравлических испытаний произошла осадка на 26,62 – 30,36 см;

–величина потенциально возможной осадки составляет 16,90 – 17,98 см.

Следует также отметить, что величина относительной осадки $S_{отн} = 24,8$ см, зафиксированная геодезическими измерениями, близка к расчетной - $S = 26,62 - 30,36$ см.

Величину максимально возможной осадки, существовавшей на момент начала строительства и проектирования, можно ориентировочно определить, как $24,8 / 0,7 = 35,43$ см, что тоже соответствует расчетным значениям

Стоит подчеркнуть, что геодезически зафиксированы не абсолютные, а относительные величины осадки.

Из сравнения результатов расчетов с данными натурных наблюдений можно сделать следующий вывод: при проектировании резервуаров большого диаметра на слабых водонасыщенных грунтах лучше использовать компрессионные значения модулей деформаций E_k и способы расчета, деформаций специально адаптированные к решению проблемы.

Литература

1. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Госстройиздат, 1963. – 437 с.
2. 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.
3. Khmeleva A.I. Foundations of vertical steel tanks for oil and oil products // Modern scientific researches and innovations. 2015. № 5. pp. 60-66.
4. 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.

5. Прокопов А.Ю., Ткачева К.Э. Исследование напряженно-деформированного состояния фундамента вертикального резервуара с учетом динамики эксплуатационных нагрузок// Инженерный вестник Дона, 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3200

6. 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

7. СорочанЕ.А. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика /Под общ. ред. Е.А. Сорочана. - М.: Стройиздат, 1985. -480 с.

8. Иванов Ю.К., Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н. Основания и фундаменты резервуаров / Под ред.П. А. Коновалова. – М.: Стройиздат, 1989. – 223 с.

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

10. Кушнер С.Г. Расчет осадок оснований зданий и сооружений. – Киев. Будивэльнык, 1990. – 144с.

References

1. Cytovich N.A. Mehanika gruntov. [Soil mechanics].M. Gosstrojizdat, 1963. 437p.

2. Volchkov A.R. Nauka i tehnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov. 2014. №4 (16). pp. 52-56.

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



4. Tarasenko A.A., Silnitskiy P.F., Tarasenko D.A. Tenth International conference on permafrost. TICOP. Resources and risks of permafrost areas in a changing world Proceedings. 2012. p. 583-584.
5. Prokopov A.Ju., Tkacheva K.Je. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3200
6. Prokopov A.Ju., Akopyan V.F., Gaptlislamova K.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2104
7. E.A. Sorochan. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya E.A. Sorochan. [Foundations and underground structures]. M: Strojizdat, 1985. 480 p.
8. Ju. K. Ivanov, P. A. Konovalov, R. A. Manrushev, S. N. Sotnikov. Osnovaniya i fundamenty rezervuarov. [Tank bases and foundations]. P.A. Konovalov. M.: Strojizdat, 1989. 223p.
9. Sil'nickij P.F., Tarasenko M.A., Tarasenko A.A. Raschet fundamentnogo kol'ca s defektami. Neft' i gaz. 2011. №5. p. 75-77.
10. Kushner S.G. Raschet osadok osnovanij zdanij i sooruzhenij. [Calculation of the sediment of the bases of buildings and structures]. Kiev. Budivjel'nyk, 1990. 144 p.