

УДК 621.642.39.03-025.71-034.14

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ВЫСТУПА ОКРАЙКИ
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ
ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО
РЕЗЕРВУАРА ПРИ РАЗВИТИИ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКИ
НАРУЖНОГО КОНТУРА ДНИЩА**

Чепур П.В., Тарасенко А.А., Тарасенко Д.А.

*ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень,
e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com; chepur@me.com, zuleen@mail.ru*

В статье рассмотрен вопрос влияния выступа крайки на напряженно-деформированное состояние вертикального стального цилиндрического резервуара вместимостью 20000 м³. Исследован осесимметричный случай нагружения резервуара гидростатической нагрузкой, приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния конструкций резервуара для различных величин выступа крайки. Также смоделирован неосесимметричный случай нагружения, вызванный неравномерной осадкой наружного контура днища, при этом рассмотрены различные значения выступов крайки. Подробно описана процедура моделирования неравномерной осадки наружного контура днища путем вырезки сегментов фундаментного кольца заданного размера. Получены зависимости возникающих напряжений от высоты стенки резервуара. Приведены эпюры прогибов и напряжений для различных конструкций резервуара. Сделаны выводы по выбору оптимального значения выступа крайки для вертикальных стальных резервуаров типоразмера РВС-20000.

Ключевые слова: резервуар, фундамент, напряженно-деформированное состояние, неравномерные осадки наружного контура днища, ANSYS, САПР, выступ крайки

**THE STRESS-STRAINED STATE RESEARCH OF STEEL STORAGE
TANK WITH A LIP PROTRUSION INFLUENCE LINKED OUTER CIRCUIT
BOTTOM DIFFERENTIAL SETTLEMENT**

Chepur P.V., Tarasenko A.A., Tarasenko D.A.

*Tyumen State Oil and Gas Institute, Tyumen,
e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com, zuleen@mail.ru*

The article presents the stress-strained state research of steel storage tank 20000 m³ with a lip protrusion influence. The researchers considered axisymmetric case of vertical steel storage tank hydrostatic loading, the results of stress-strain state of the tank structures for different values of the projection selvages presented in the article. Nonaxisymmetric case of loading is modeled, caused differential settlement of outer circuit bottom, so different values of lip protrusion considered. The authors presented procedure of modelling differential settlements of outer contour of the bottom by cutting segments of the foundation ring. The nassed stresses dependence on tank storage wall height obtained. The deformation, strain and stress curves of different tank constructions are widely shown.

Keywords: aboveground oil tank, foundation, the stress-strain state, differential settlement outer circuit of the bottom, ANSYS, CAD, lip protrusion

С развитием нефтегазовой промышленности география объектов инфраструктуры магистрального транспорта нефти постепенно расширяется на территории со сложными климатическими и геологическими условиями. Это приводит к необходимости более детально подходить к вопросам обеспечения надежности промышленных объектов. Вертикальные стальные резервуары, являясь неотъемлемым звеном в структуре добычи и магистрального транспорта нефти, требуют особого подхода к обеспечению надежности конструкций. Резервуар – сооружение, испытывающее значительные эксплуатационные нагрузки (гидростатическое давление столба жидкости, снеговая и вакуумметрическая нагрузка, ветровая нагрузка, а также вес установленного оборудования, сейсмическая нагрузка). Суммарная нагрузка от веса конструкций резервуара

передается на железобетонное фундаментное кольцо, которое, в свою очередь, опирается на грунтовое основание. Согласно статистическим данным, опубликованным в работах [3, 4, 5], 33% обследованных резервуаров имеют показатели неравномерности осадки значительно превышающие допустимые. Статистика приводится для 310 исследованных резервуаров типоразмеров от 400 до 50000 м³. В работах [6, 7, 8, 9] исследованы особенности изменения НДС резервуаров при неравномерных осадках.

Широко известно аналитическое решение для узла сопряжения стенки с днищем при осесимметричной постановке, полученное методом сил для полоски единичной ширины [1], в котором изменение величины выступа крайки существенно изменяет общее напряженно-деформированное состояние конструкции. Для новых резервуаров

в ГОСТ Р 59910-2008 рекомендовано выступ листов окрайки за стенку резервуара назначать в интервале 50–100 мм.

Авторами проанализированы результаты проведения дефектоскопии более 300 резервуаров, выполненной НПП «Симплекс». Некоторые иллюстрации проблемы представлены на рис. 1. Как следует из анализа, величина выступа находится в пределах 15–150 мм и может изменять свою величину по радиусу РВС либо образовывать дефект типа «ступенька». В таких местах создаются зоны повышенных напря-

жений даже при обычных сливо-наливных операциях. Рекомендуется при ремонтах резервуаров устранять подобные дефекты. Однако значительная часть резервуаров с дефектами по-прежнему эксплуатируется, имея и более сложные условия нагружения. Авторами предлагается рассмотреть случай неосесимметричного нагружения оболочки, вызванного неравномерной осадкой наружного контура днища РВС-20000, для различной величины выступа окрайки. Модель РВС-20000 реализована в среде ANSYS Workbench 14.5.



Недостаточный выступ окрайки



Недопустимо большой выступ окрайки



Неравномерный выступ окрайки



Недопустимый выступ окрайки («ступенька»)



Недопустимая деформация листов металла окрайки

Рис. 1. Примеры недопустимых выступов окрайки

Расчетная схема представлена на рис. 2 и включает в себя действие нагрузки от веса стационарного покрытия и оборудования, снегового покрова и собственного веса стенки резервуара.

Фундаментное кольцо опирается на основание со значением коэффициента постели 200 МПа/м³. Для решения контактной задачи используются конечные элементы CONTA175 и TARGE170, взаимодействие

элементов конструкций требует назначения контактной пары (contactpair) поверхностей или твердых тел, где один из объектов – контактный (contact), а другой – целевой (target). Зоны контакта фундаментного кольца и грунтового основания, а также контакта центральной части днища и основания рассматриваются как «упруго закрепленные» (elasticsupport). На рис. 2 представлена расчетная схема.

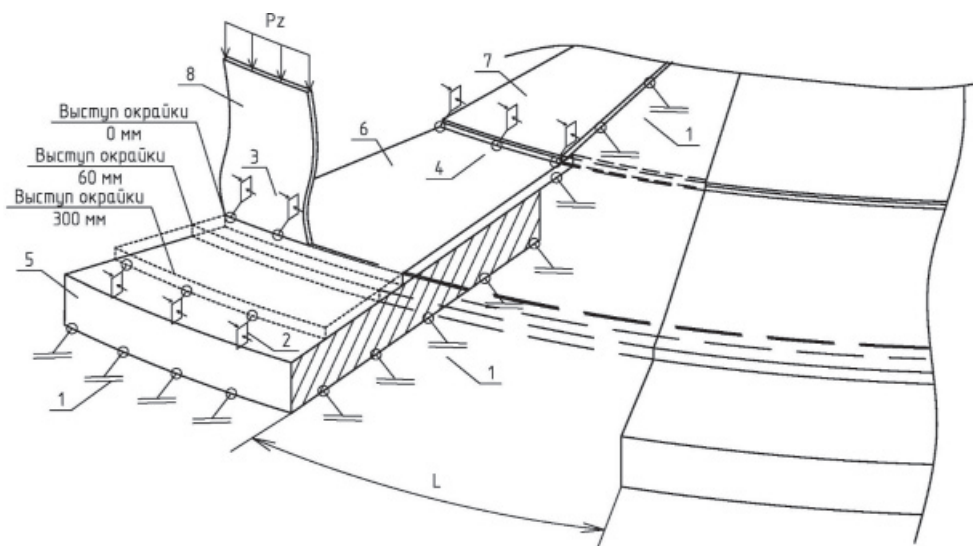


Рис. 2. Расчетная схема:

- 1 – упругое закрепление «elasticsupport»;
- 2 – контакт фундаментного кольца и окрайки (manualcontactregion «surfacebodytosolid»);
- 3 – контакт листов стенки и окрайки (manualcontactregion «surfacebodytoedge»);
- 4 – контакт окрайки и центральной части днища (manualcontactregion «surfacebodytosurfacebody»);
- 5 – кольцевой фундамент;
- 6 – окрайка;
- 7 – центральная часть днища;
- 8 – стенка;
- Pz – суммарная нагрузка от веса стационарного покрытия и оборудования, снегового покрова и собственного веса стенки резервуара;
- L – дуговой размер зоны просадки

Геометрическая модель резервуара построена в соответствии со значениями, принятыми в типовом проекте для РВС-20000 (ТП 704-1-60). Радиус резервуара составляет 22,85 м, высота стенки 11,92 м. Толщина стенки для первого пояса – 13 мм, для 2–8 поясов – 11 мм. Листы стенки выравниваются по внутреннему краю. В предлагаемой модели стенка, окрайка, днище, кольцо жесткости представлены оболочечными конечными элементами SHELL181. Кровля моделируется балочными конечными элементами BEAM4 и состоит из 48 двутавров, профиль I35Б1 по ГОСТ 8239-89. Материал металлоконструкций – сталь малоуглеродистая низколегированная 09Г2С.

В расчетах величина окрайки изменяется от 0 до 300 мм. Просадочные зоны задаются путем удаления части фундамента, согласно рекомендациям [2]. Неравномерная осадка резервуара моделируется путем вырезки сегмента фундаментного кольца размером L (рис. 3). Для удобства представ-

ления результатов расчетов предлагается использовать безразмерный, принятый в теории оболочек параметр n , который учитывает размер зоны нагружения (осадки резервуара):

$$n = \pi R/L, \quad (1)$$

где L – дуговой размер зоны просадки; R – радиус резервуара.

Автором предлагается расчет НДС резервуара при значениях $n = 2, 6$ (на рис. 3 представлена схема моделирования просадочной зоны при различных значениях n).

В таблице представлена схема планирования эксперимента. Опыт предполагает наличие двух факторов. Первым фактором (a) является величина выступа окрайки с тремя комбинациями: недостаточный выступ – 0 мм (a_1), нормативный выступ – 60 мм (a_2), недопустимо большой выступ – 300 (a_3). Вторым фактором (b) является значение коэффициента n , при этом автором предлагается 2 возможные комбинации: $n = 2$ (b_1), $n = 6$ (b_2).

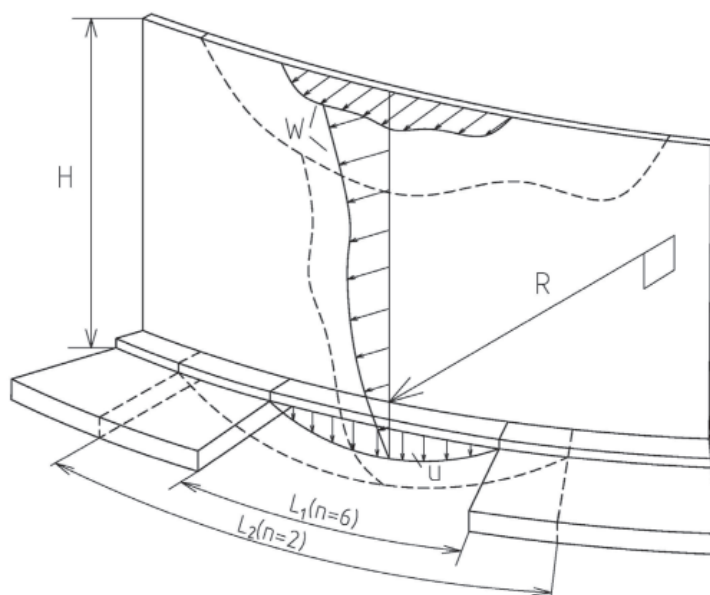


Рис. 3. Схема моделирования просадочной зоны:
 L – дуговой размер зоны просадки; R – радиус резервуара; H – высота резервуара; W – радиальные перемещения стенки; u – вертикальные перемещения стенки и крайки

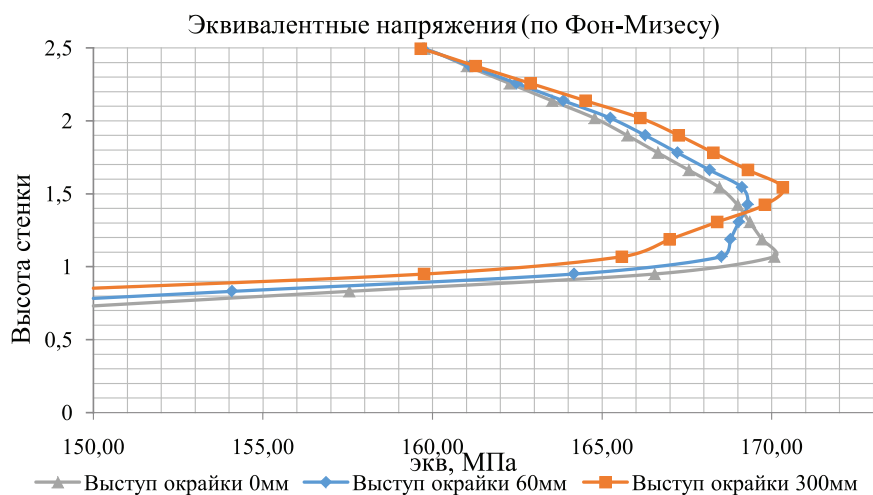


Рис. 4. Случай осесимметричного нагружения (без осадок) с учетом гидростатического давления (увеличен масштаб по высоте стенки)

| Фактор a | Фактор b | |
|------------|------------|------------|
| | I | II |
| I | a_1, b_1 | a_1, b_2 |
| II | a_2, b_1 | a_2, b_2 |
| III | a_3, b_1 | a_3, b_2 |

Выводы

– Авторами создана модель резервуара, позволяющая определять изменение НДС резервуара при неравномерных осадках с учетом реальной величины выступа крайки.

– Выступ крайки 60 мм обеспечивает наименьшие напряжения и прогибы стенки резервуара при неравномерной осадке.

– При неравномерной осадке наружного контура днища появляются предельные прогибы несущих балок стационарной кровли, расположенных над просадочной зоной.

– Наибольшие напряжения в стенке при неравномерной осадке возникают на высоте 1–2,5 м. над краями просадочной зоны (с двух сторон).

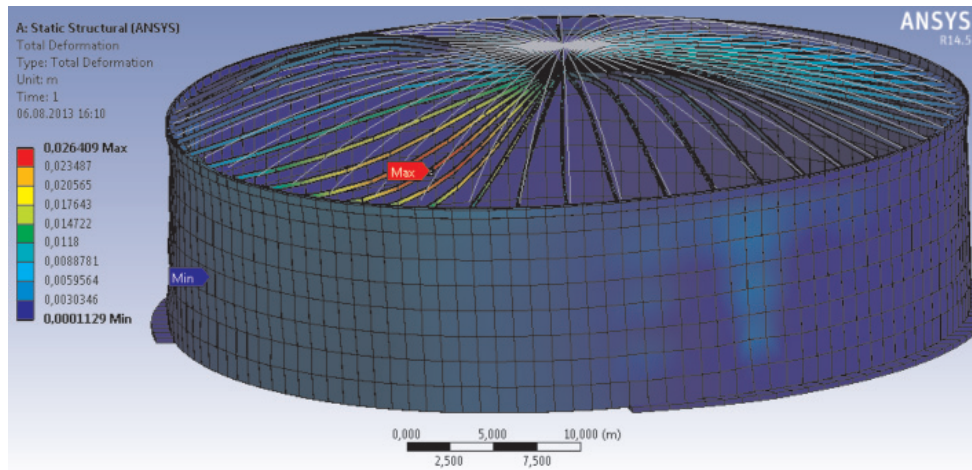


Рис. 5. Эюра перемещений конструкций кровли в случае неосесимметричного нагружения при $n = 2$. Выступ окрайки 0 мм, отсутствует гидростатическая нагрузка

Список литературы

1. Сафарян М.К. Металлические резервуары и газгольдеры. – М.: Недра, 1987. – 200 с.
2. Слепнев И.В. Напряженно-деформированное упруго-пластическое состояние стальных вертикальных цилиндрических резервуаров при неравномерных осадках основания: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М., 1988. – 229 с.
3. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. ... д-ра. техн. наук. – Тюмень, 1999. – 254 с.
4. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г., Макаров А.И. и др. Методы ремонта элементов конструкций стальных вертикальных цилиндрических резервуаров после длительной эксплуатации (инструкция). – АООТ «Сибнефтепровод». – Тюмень, 1997. – 264с.
5. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние вертикальных стальных резервуаров при ремонтных работах. – М.: ОАО Изд-во «Недра», 1999. – 271 с.
6. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г. Экспериментальное исследование деформаций стенки резервуара при неравномерных осадках оснований. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1997. – № 6. – С. 12.
7. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Николаев Н.В. Напряженно-деформированное состояние стенки резервуара при неравномерных осадках основания. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1997. – №3. – С. 87.
8. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г., Овчар З.Н., Николаев Н.В. Определение неравномерной составляющей осадки резервуаров, вызывающей неосесимметричную деформацию. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1997. – № 5. – С. 104.
9. Хоперский Г.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния стенки резервуара при неравномерных осадках основания. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1998. – 197 с.

References

1. Safarjan M.K. Metallicheskie rezervuary i gazgol'dery [Steel storage tanks and gasholders]. Moscow, Nedra, 1987. 200 p.
2. Slepnev I.V. Naprjazhenno-deformirovannoe uprugoplasticheskoje sostojanie stal'nyh vertikal'nyh cilindricheskikh rezervuarov pri neravnomernyh osadkah osnovanija. Diss. kand. tehn. nauk [Stress-strain elastic-plastic state steel vertical cylindrical tanks with irregular settlement base. Candidate technical sciences dissertation]. Moscow, MISI im. V.V. Kujbysheva, 1988. 228 p.
3. Tarasenko A.A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie krupnogabaritnyh rezervuarov pri remontnyh rabotah: dis. dokt.

tehn. nauk [Stress-strained state of large-sized tanks during repairs. Doctor technical sciences dissertation]. Tyumen, 1999. 254 p.

4. Tarasenko A.A., Hoperskiy G.G., Makarov A.I. and others. Metody remonta jelementov konstrukcij stal'nyh vertikal'nyh cilindricheskikh rezervuarov posle dlitel'noj jekspluatcii (instrukcija). AOOT «Sibnefteprovod» [Repair methods of steel storage tanks elements after long-time exploitation The Instruction of OAO «Sibnefteprovod»]. Tyumen, 1997. 267 p.

5. Tarasenko A.A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov pri remontnyh rabotah [Stress-strained state of storage steel tanks during repairs]. Moscow. OAO Izdatel'stvo «Nedra». 1999. 271 p.

6. Tarasenko A.A., Hoperskiy G.G. Jeksperimental'noe issledovanie deformatsij stenki rezervuara pri neravnomernyh osadkah osnovanij. Izvestija vuzov «Neft' i gaz» [Experimental research of steel storage tank's wall deformation with differential settlement of foundations – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 1997. no. 6, pp. 12.

7. Tarasenko A.A., Hoperskiy G.G., Sajapin M.V., Nikolaev N.V. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie stenki rezervuara pri neravnomernyh osadkah osnovanija [Stress-strain state of the steel storage tank's wall with differential settlement of foundation – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 1997. no.3, pp. 87.

8. Tarasenko A.A., Hoperskiy G.G., Ovchar Z.N., Nikolaev N.V. Opredelenie neravnomernoj sostavljajushhej osadki rezervuarov, vyzyvajushhej neosesimmetrichnuju deformatsiju. [The definition of non-uniform component of precipitation tanks, causing deformation of the non-axisymmetric – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 1997. no.5, pp. 104.

9. Hoperskiy G.G. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostojaniya stenki rezervuara pri neravnomernyh osadkah osnovaniya: dis. cand. tehn. nauk [Stress-strained state of storage steel tanks with differential settlements of outer counter of the bottom. Doctor technical sciences dissertation]. Tyumen, 1998. 197 p.

Рецензенты:

Обухов А.Г., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.