

УДК 621.642.39.03

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРХНЕГО ОПОРНОГО КОЛЬЦА РЕЗЕРВУАРА ПРИ НЕОСЕССИМЕТРИЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ КОРПУСА

Тарасенко А.А., Чепур П.В.

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень,
e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com; chepur@me.com*

Выполнена уточненная конечно-элементная модель узла сопряжения стационарной кровли с опорным кольцом для крупногабаритного вертикального стального резервуара РВС-20000, в которой учитывается реальная геометрия металлических пластин-оболочек в соответствии с проектом ТП-704-1-60, геометрическая и физическая нелинейность, а также особенности неосесимметричной расчетной схемы нагружения конструкции. Получены зависимости параметров НДС конструкции опорного узла от величины просадочной зоны наружного контура днища РВС-20000. Установлено, что при значении коэффициента просадочной зоны $n \leq 1$ наступает область критических значений, превышение которых ведет к появлению недопустимых пластических деформаций металлических конструкций. Авторами выполнена интерпретация постпроцессинга конечно-элементного анализа, в результате чего получены зависимости параметров напряженно-деформированного состояния от величины зоны деформации. Представлены графики зависимости величин деформаций и напряжений металлоконструкции опорного кольца от размера просадочной зоны по дуге наружного контура днища.

Ключевые слова: резервуар, РВС, НДС, МКЭ, кольцо жесткости, опорное кольцо

STRESS-STRAIN STATE OF THE UPPER SUPPORT RING WITH NON-AXISYMMETRIC DEFORMATION

Tarasenko A.A., Chepur P.V.

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com

Performed a refined finite element model of the node pair with a fixed roof support ring for large-size vertical steel tank RVS-20000, which takes into account the actual geometry of the metal plates, shells in accordance with the draft TP-704-1-60, geometrical and physical nonlinearity, as well as especially non-axisymmetric loading design scheme. The dependences of the parameters of the stress-strain state structure supporting unit of the value of subsidence zone of the outer contour of the bottom of the RVS-20000. Found that when the value of the coefficient of subsidence zone $n \leq 1$ comes region critical values are exceeded, leads to harmful plastic deformation of metal structures. The authors performed an interpretation postprocessing finite element analysis, resulting in a dependence of the parameters of the stress-strain state of the value of the warping area. Are graphs of the values of the strain and stress of the metal support ring size subsidence zone along the arc of the outer contour of the bottom.

Keywords: tank, aboveground tank, stress-strain state, FEM, stiffening ring, support ring

Конструкция вертикального стального резервуара представляет собой цилиндрическую оболочку, ограниченную фундаментным основанием по нижнему контуру и стационарным балочно-листовым покрытием по верхнему. Техничко-эксплуатационные характеристики данного сооружения позволяют осуществлять хранение жидкого продукта, вес которого может до 50 раз превышать вес самого сооружения. Многолетний опыт [1, 4, 9, 11–15] показывает, что при отсутствии непроектных нагрузок, вызванных действием различных факторов, резервуар может безотказно эксплуатироваться более 30 лет, с перерывами на плановое техническое обслуживание и диагностику. Основными негативными факторами, которые могут привести к преждевременному нарушению технического состояния РВС, являются: ошибки на стадии строительства и проектирования РВС; изменение технологической схемы перекачки,

увеличение эксплуатационных нагрузок на сооружение; изменение гидрологических условий площадки резервуара. Эти факторы при определенных обстоятельствах приводят к возникновению неосесимметричных непроектных нагрузок, которые могут вызвать наступление предельных состояний в металлоконструкциях резервуара.

Развитие осадки резервуаров, особенно её неравномерной составляющей, – наиболее распространенная причина аварий РВС согласно [2]. При выявлении неравномерных осадок характер деформирования корпуса резервуара не может быть точно рассчитан, несмотря на наличие обширной нормативно-технической базы по ремонту и эксплуатации крупногабаритных РВС. Поэтому авторами предлагается исследовать влияние отдельных конструктивных элементов на общее НДС конструкции сооружения при развитии неравномерных осадок основания. Опорное кольцо, согласно

[6, 8], воспринимает значительные нагрузки при неосесимметричном деформировании корпуса резервуара. Однако численные зависимости параметров НДС металлоконструкций опорного кольца от величины неравномерной осадки в настоящий момент не исследованы.

Авторами предлагается выполнить численное моделирование верхнего опорного узла РВС-20000 в программном комплексе ANSYS, реализующем метод конечных элементов (МКЭ). Развитие неравномерной осадки предлагается моделировать путем вырезки сегмента фундаментного кольца, вследствие чего образуется просадочная зона, размеры которой определяются с помощью коэффициента n согласно [6, 14]. Таким образом, рассматривается наиболее неблагоприятный случай осадки, при котором полностью утрачивается контакт окрай-

ки и уторного узла с опорой. Предлагается рассматривать диапазон $n = [1...6]$, что соответствует величинам просадочных зон от 12 до 72 м. При моделировании используются балочные и оболочечные конечные элементы: SHELL181 – для построения листовых конструкций, BEAM4 – для построения балочных элементов каркаса кровли. Учитывается контактное взаимодействие металлоконструкций уторного узла, фундаментного кольца и грунтового основания, свойства которого задаются с помощью коэффициента постели, в данном случае равного 200 МН/м^3 .

На рис. 1 представлена расчетная схема, где обозначены основные конструктивные элементы РВС, просадочная зона, направление деформирования конструкции кольца жесткости, зоны упругого контакта подошвы фундамента с грунтовым основанием.

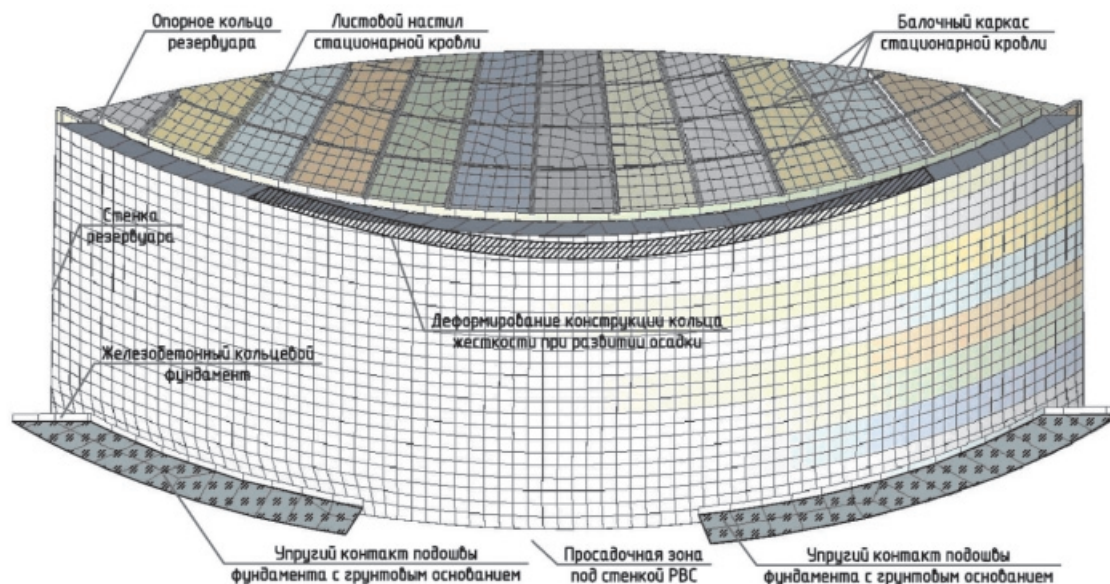


Рис. 1. Деформации кольца жесткости при величине просадочной зоны $n = 1$

В работе предполагается определить деформации и действующие эквивалентные напряжения в конструкции опорного кольца жесткости при различных величинах просадочной зоны. На рис. 2 представлены полученные результаты конечно-элементного моделирования – деформации кольца жесткости при величинах просадочной зоны $n = 1$, $n = 2$, $n = 6$ соответственно. При этом использован масштабный коэффициент $\times 200$ для визуализации, что позволяет наглядно оценить характер деформирования участков опорного кольца. Так, участок кольца, находящийся над зоной деплана-

ции, имеет U-образный изгиб при рассмотрении фронтальной плоскости проекции, проходящей касательно к стенке в месте зоны просадки.

Авторами выполнена интерпретация постпроцессинга конечно-элементного анализа, в результате чего получены зависимости параметров напряженно-деформированного состояния от величины зоны депланации. На рис. 3 представлен график зависимости величин деформаций металлоконструкции опорного кольца от размера просадочной зоны по дуге наружного контура днища.

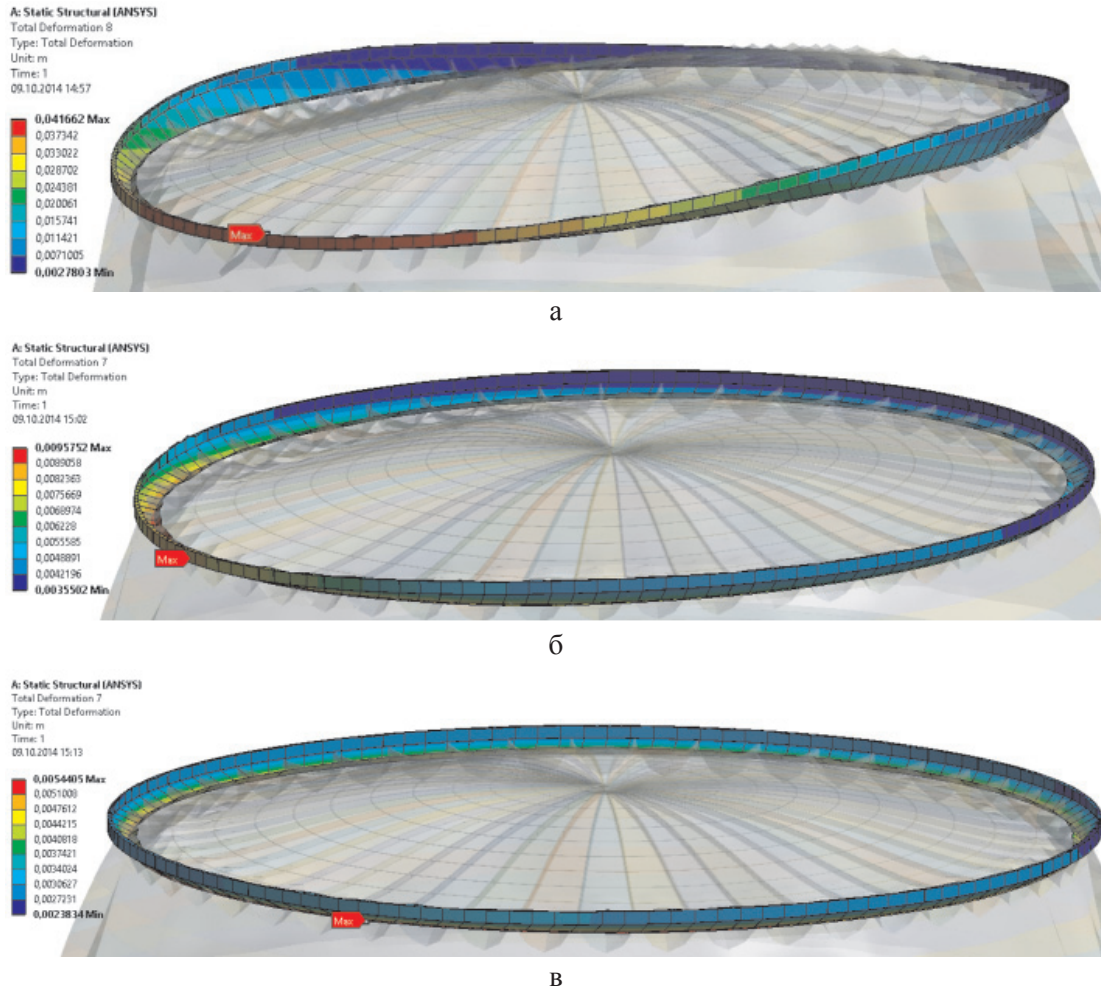


Рис. 2.

а – деформации кольца жесткости при величине просадочной зоны $n = 1$;
б – деформации кольца жесткости при величине просадочной зоны $n = 2$;
в – деформации кольца жесткости при величине просадочной зоны $n = 6$

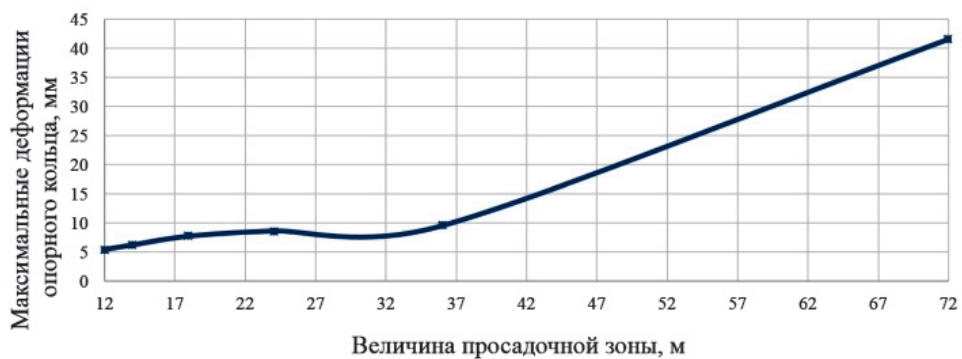


Рис. 3. График зависимости значений деформации опорного кольца от величины неравномерной осадки резервуара РВС-20000

Также были проанализированы действующие эквивалентные напряжения в опорном кольце при различных величинах просадочной зоны наружного контура дна РВС. На графике (рис. 4) определены допустимые напряжения (188 МПа)

согласно нормативной документации [12], а также критические, при достижении которых в металлоконструкциях сооружения могут возникать предельные состояния (325 МПа – предел текучести резервуарной стали 09Г2С).

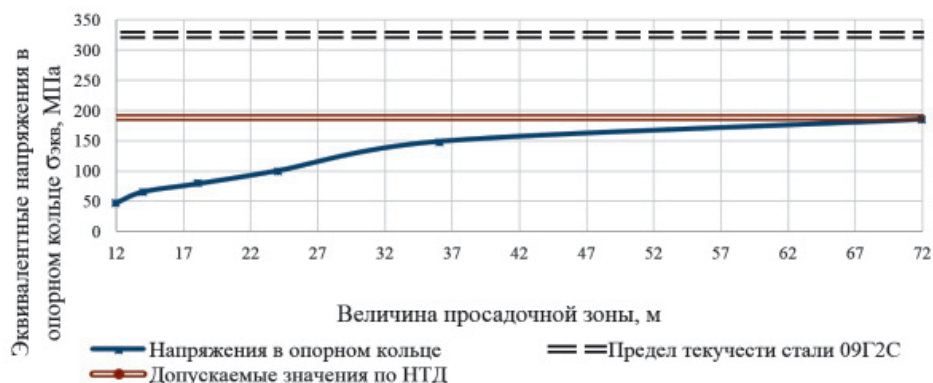


Рис. 4. Зависимость эквивалентных напряжений от величины осадки резервуара

Таким образом, неравномерная осадка рассматриваемого сооружения при величине параметра $n < 2$ вызывает рост действующих напряжений металлоконструкций до предельно допустимых величин. Однако в данном случае рассматривается проектное состояние узла сопряжения кольца жесткости и стационарного покрытия. Т.к. опорное кольцо воспринимает значительные нагрузки при деформировании корпуса сооружения, неизвестно, как влияют непро-

ектные элементы, различные дефекты кольца жесткости на НДС сооружения при развитии осадки.

Опыт диагностических обследований резервуаров, а именно контроль технического состояния верхнего узла сопряжения элементов кровли с кольцом жесткости, показал, что часто имеют место случаи эксплуатации резервуаров с ненормативными конструктивными элементами верхнего узла.



а



б

Рис. 5.

а – некорректное соединение балочного каркаса кровли с опорным кольцом;
б – некорректное соединение сегментов опорного кольца РВС-20000

Так, для сопряжения несущих балок с опорным кольцом используются подкладные пластины, уголки и прочие недопустимые элементы дополнительной жесткости, которые приводят к концентрации избыточных напряжений при нагружении резервуара. Также известны случаи несоосного закрепления сегментов опорного кольца. При этом образуется ступенчатый стык с подгонкой пластин различного размера для сварного соединения данных сегментов. Недопустимые металлические элементы, увеличение количества сварных соеди-

нений, которые не соответствуют проекту, снижают общую надежность конструкции резервуара. На рис. 5 приведены реальные случаи использования некорректных соединений и металлоконструкций в области верхнего опорного узла наиболее распространенного резервуара РВС-20000. Возникающие напряжения от неосесимметричного воздействия неравномерной осадки при наличии некорректных элементов могут вызывать избыточные напряжения в металлоконструкциях верхнего опорного узла резервуара. Дополнительные некорректные

напряжения, в свою очередь, влекут риск наступления предельных состояний в металле и, как следствие, нарушения эксплуатационной пригодности всего сооружения. Во избежание этого необходимо внести дополнения в нормативную базу в части контроля за диагностированием конструкций верхнего узла резервуара, качество которого не всегда достаточное для выявления дефектных элементов.

Выводы

1. Выполнена уточненная конечно-элементная модель узла сопряжения стационарной кровли с опорным кольцом для крупногабаритного вертикального стального резервуара РВС-20000, в которой учитывается реальная геометрия металлических пластин-оболочек в соответствии с проектом ТП-704-1-60, геометрическая и физическая нелинейность, а также особенности неосесимметричной расчетной схемы нагружения конструкции.

2. Получены зависимости параметров НДС конструкции опорного узла от величины просадочной зоны наружного контура днища РВС-20000. При значении коэффициента просадочной зоны $n \leq 1$ наступает область критических значений, превышение которых ведет к появлению недопустимых пластических деформаций кольца жесткости.

Список литературы

1. Тарасенко А.А., Николаев Н.В., Хоперский Г.Г., Овчар З.Н., Саяпин М.В. Исследование влияния приемораздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние стенки вертикальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1998. – № 1. – С. 59–68.
2. Тарасенко А.А., Саяпин М.В. Результаты статистической обработки измерений неравномерных осадок наружного контура днища вертикальных стальных резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1999. – № 1. – С. 52–56.
3. Тарасенко А.А., Турин Д.В. Моделирование нефтяных стальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2001. – № 4. – С. 65–69.
4. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Кузовников Е.В., Тарасенко Д.А. Расчет напряженно-деформированного состояния прямо-раздаточного патрубка с дефектом с целью обоснования возможности его дальнейшей эксплуатации // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–7. – С. 1471–1476.
5. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Тарасенко Д.А. Деформирование верхнего края оболочки при развитии неравномерных осадок резервуара // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6–3. – С. 485–489.
6. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. Исследование изменения напряженно-деформированного состояния вертикального стального резервуара при развитии неравномерной осадки наружного контура днища // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–15. – С. 3409–3413.
7. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. Обоснование необходимости учета истории нагружения конструкции при ремонте фундамента с подъемом резервуара // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 5. – С. 60–63.
8. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В., Тарасенко Д.А. Модель резервуара в среде ANSYS Workbench 14.5 // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–15. – С. 3404–3408.
9. Тарасенко М.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко А.А. Анализ результатов дефектоскопии коррозионных повреждений резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2010. – № 5. – С. 78–82.

10. Тиханов Е.А., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Оценка экономической эффективности капитального ремонта основания вертикального стального резервуара методом перемещения // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6–2. – С. 330–334.

11. Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Тарасенко А.А. Расчет прочности фундаментного кольца резервуара при воздействии сосредоточенной нагрузки от подъемного устройства // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1998. – № 2. – С. 60–64.

12. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Влияние параметров неравномерной осадки на возникновение предельных состояний в резервуаре // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8–7. – С. 1560–1564.

13. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Методика определения необходимости ремонта резервуара при осадках основания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8–6. – С. 1336–1340.

14. Чепур П.В., Тарасенко А.А., Тарасенко Д.А. Исследование влияния величины выступа крайки на напряженно-деформированное состояние вертикального стального цилиндрического резервуара при развитии неравномерной осадки наружного контура днища // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–15. – С. 3441–3445.

15. 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. – № 9–5. – С. 1003–1007.

References

1. Tarasenko A.A., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Sajapin M.V. *Izvestijavuzov.Neft'igaz*. 1998, no. 1, pp. 59–68.
2. Tarasenko A.A., Sajapin M.V. *Izvestijavuzov.Neft'igaz*. 1999, no. 1, pp. 52–56.
3. Tarasenko A.A., Turin D.V. *Izvestijavuzov.Neft'igaz*. 2001, no. 4, pp. 65–69.
4. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Kuzovnikov E.V., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2014, no. 9–7, pp. 1471–1476.
5. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2014, no. 6–3, pp. 485–489.
6. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. *Fundamental research*, 2013, no. 10–15, pp. 3409–3413.
7. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. *Bezopasnost' trudavpromyshlennosti*, 2014, no. 5, pp. 60–63.
8. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2013, no. 10–15, pp. 3404–3408.
9. Tarasenko M.A., Silnitskiy P.F., Tarasenko A.A. *Izvestijavuzov. Neft'igaz*. 2010, no. 5, pp. 78–82.
10. Tihanov E.A., Tarasenko A.A., Chepur P.V. *Fundamental research*, 2014, no. 6–2, pp. 330–334.
11. Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Tarasenko A.A. *Izvestijavuzov.Neft'igaz*. 1998, no. 2, pp. 60–64.
12. Chepur P.V., Tarasenko A.A. *Fundamental research*, 2014, no. 8–7, pp. 1560–1564.
13. Chepur P.V., Tarasenko A.A. *Fundamental research*, 2014, no. 8–6, pp. 1336–1340.
14. Chepur P.V., Tarasenko A.A., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2013, no. 10–15, pp. 3441–3445.
15. Chirkov S.V., Tarasenko A.A., Chepur P.V. *Fundamental research*, 2014, no. 9–5, pp. 1003–1007.

Рецензенты:

Соколов С.М., д.т.н., профессор кафедры «ТУР», 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», г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 10.10.2014.