

УДК 621.642.39.03

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО СБРОСА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ РЕЗЕРВУАРА ПРИ РАЗВИТИИ ОСАДОК ОСНОВАНИЯ

¹Чепур П.В., ¹Тарасенко А.А., ²Соколов С.С.

¹Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень,

e-mail: chepur@me.com; a.a.tarasenko@gmail.com;

²ООО НПП «Симплекс», Тюмень, e-mail: simplex_rvs@mail.ru

Создана конечно-элементная модель трубопроводов системы аварийного сброса нефти с узлом подключения к резервуару РВС-20000. Для численного моделирования использован программный комплекс ANSYS Workbench 14.5, с помощью которого создана модель рассматриваемого узла с учетом геометрической и физической нелинейности конструкции. Предложена расчетная схема деформирования сооружения при развитии осадки основания. При помощи составленной табулированной функции удалось определить величину осадки, при которой возникают критические напряжения в металле. Получены зависимости величины максимальных действующих напряжений в металлоконструкциях узла сопряжения стенки с трубопроводом системы аварийного сброса от значений осадки РВС-20000. При осадке РВС более 80 мм действующие эквивалентные напряжения в стыке трубопровода со стенкой и воротником резервуара превышают предельно допустимые по НТД – 188 МПа. При величине осадки резервуара 144 мм наступает предельное состояние в стенке и узле соединения с трубопроводом, при этом действующие напряжения превышают 325 МПа и металл переходит в состояние развития пластических деформаций.

Ключевые слова: резервуар, РВС, НДС, основание, фундамент, МКЭ, трубопровод

ASSESSMENT OF PIPELINE SYSTEM EMERGENCY RELIEF ON STRESS STATE CONSTRUCTION TANK IN THE SETTLEMENT DEVELOPMENT

¹Chepur P.V., ¹Tarasenko A.A., ²Sokolov S.S.

¹Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: chepur@me.com; a.a.tarasenko@gmail.com;

²Simplex, Tyumen, e-mail: simplex_rvs@mail.ru

Established finite element model of piping system accidental discharge of oil from the node to connect to the tank RVS-20000. Used for numerical simulation software package ANSYS Workbench 14.5, with the help of which created a model of the knot with the geometrical and physical nonlinearity design. Proposed a design scheme of deformation structures in the development of rainfall base. With a predetermined function tabulated rainfall managed to get the critical values of stresses in the metal, resulting in the development of precipitation. Obtained the dependence of the maximum working stresses in structures node interface panels with piping of the emergency reset the values of rainfall RVS-20000. At draft tank more than 80 mm equivalent operating voltage at the junction with the wall of the pipe and collar of the tank exceeds the maximum allowable for technical documentation – 188 MPa. When the magnitude of precipitation tank 144 mm in the limit state occur wall and node connections to conduit while operating stress exceeds 325 MPa and the metal turns into a state of plastic deformation.

Keywords: tank, aboveground tank, stress-strain state, base, foundation, FEM, pipeline

Влиянию осадок основания на напряженно-деформированное состояние металлоконструкций крупногабаритных вертикальных стальных резервуаров (РВС) посвящены работы авторов [5–6, 12–14]. Однако в данных исследованиях рассматриваются численные модели деформирования резервуаров без учета технологических трубопроводов и прочих элементов дополнительной жесткости. Однако опыт эксплуатации РВС и данные многолетних наблюдений [2] свидетельствуют о том, что для точной оценки напряженного состояния конструкции резервуара при неосесимметричных деформациях, вызванных неравномерными осадками основания в численных моделях необходимо учитывать жесткость внешних связей от подключаемого оборудования, трубопроводов и технологических систем.

В данной работе предлагается выполнить анализ влияния трубопроводов системы аварийного сброса на напряженное состояние конструкции резервуара РВС-20000 при развитии осадок основания (рис. 1).

Для реализации поставленной задачи необходимо выполнить численное моделирование конструкций и узлов системы аварийного сброса нефти на основе ранее разработанной авторами конечно-элементной модели резервуара РВС-20000 [8]. Для моделирования использован программный продукт ANSYS Workbench 14.5 с расчетным модулем Static Structural, позволяющим решать задачи неосесимметричного деформирования различных конструкций с учетом физической и геометрической нелинейности.



Рис. 1. Общий вид узла присоединения трубопровода аварийного сброса нефти к РВС-20000

Расчетная схема РВС-20000 с подключаемой системой трубопроводов системы аварийного сброса включает следующие конструкции: U-образный трубопровод ДУ700, жестко заземленный с одного торца (место выхода подземного трубопровода на дневную поверхность) и через тройник присоединяемый к первому поясу стенки РВС в двух точках; в узлах сопряжения трубопроводов со стенкой учитывается конструкция усиливающих воротников; в модели принимается в расчет контактное взаимодействие тройника с опорой – отдельно стоящим железобетонным фундаментом; также моделируют-

ся дополнительные жесткостные балочные связи U-образного трубопровода со стенкой РВС, тип металлического профиля – уголок равнополочный 100×10. Все геометрические параметры моделируемых конструкций РВС соответствуют характеристикам реально эксплуатируемого резервуара РВС-20000 № 6 на ЛПДС «Торгили».

Осадка резервуара задается с помощью функции заданного перемещения «displacement», позволяющей моделировать оседание РВС-20000 по контуру на заданную величину. На рис. 2 представлена предлагаемая авторами расчетная схема.

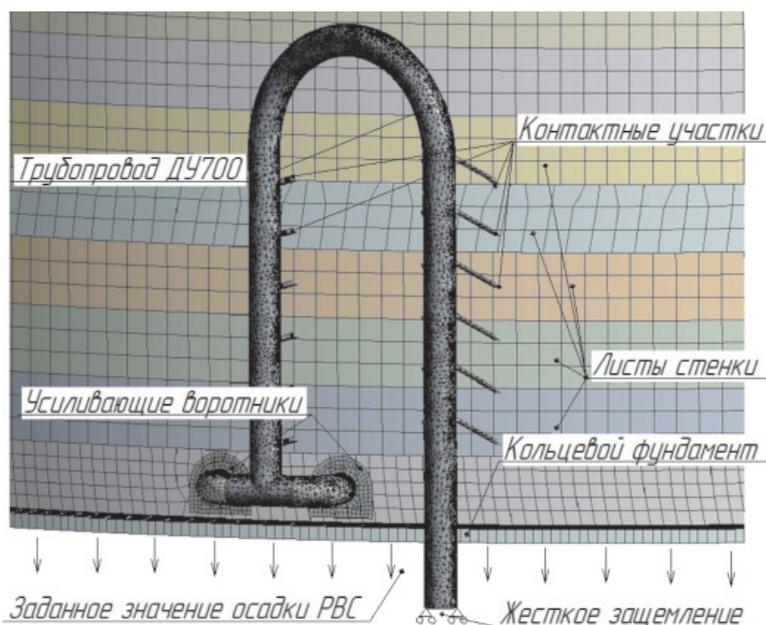


Рис. 2. Расчетная схема узла сопряжения системы аварийного сброса и стенки РВС-20000

Для получения зависимостей параметров НДС от величины осадки резервуара необходимо исследовать такой диапазон значений заданного перемещения (осадки), при котором появились бы критические напряжения, соответствующие предельным прочностным характеристикам используемого в резервуаростроении металла 09Г2С. При решении такой задачи была использована табулированная функция этапов нагружения. Минимальное значение осадки было выбрано равным 5 мм, при этом оценочный расчет показал, что такая величина перемещения не вызывает напряжений, превышающих 30 МПа. Далее осадка ступенчато увеличивалась с шагом 10 мм и производились повторные

расчеты, цель которых – достижение критических значений деформации (325 МПа для стали 09Г2С, в данном случае). Расчет автоматически был прерван при величине осадки 150 мм, т.к. в сварном стыке узла сопряжения усиливающего воротника, стенки и трубопровода действующие эквивалентные напряжения достигли величины 338 МПа. Уточняющий расчет показал, что при величине осадки 144 мм в металле был достигнут предел текучести – 325 МПа, после чего начались пластические деформации металлоконструкций. На рис. 3 и 4 представлены эпюры распределения эквивалентных напряжений и деформаций металлоконструкций при достижении критического уровня осадки – 144 мм.

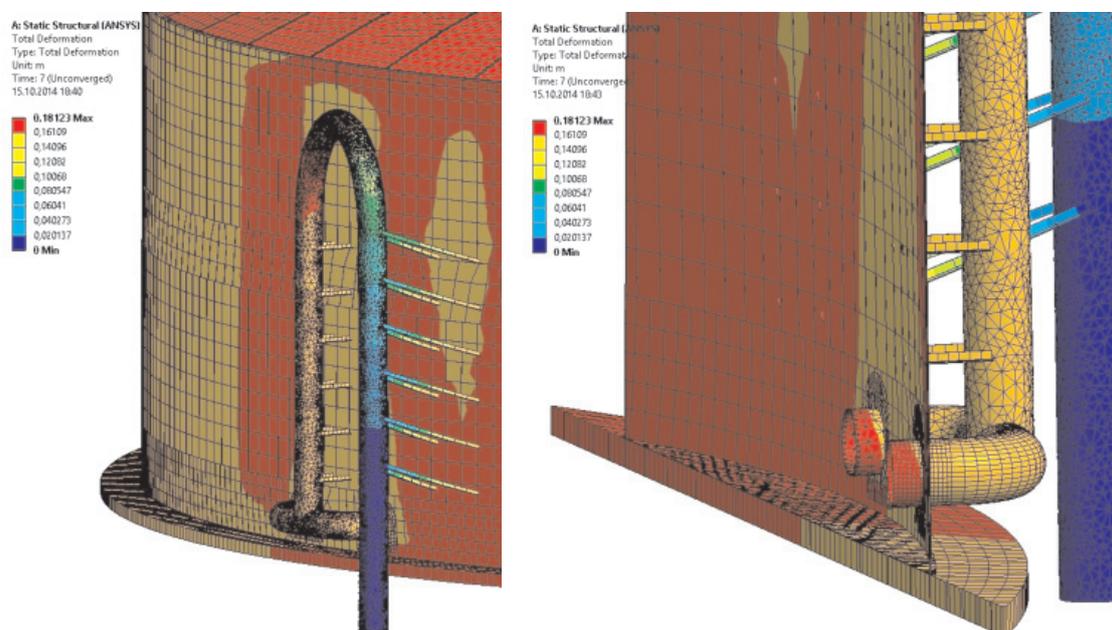


Рис. 3. Деформации металлоконструкций РВС-20000 в зоне узла сопряжения трубопроводов системы аварийного сброса нефти со стенкой

Модель узла аварийного сброса сгенерирована оболочечными – трубопроводы, отводы, тройник, усиливающие воротники (SHELL181), и балочными – уголки-связи крепления трубопровода к стенке (BEAM188) конечными элементами.

Из результатов прочностного расчета модели в комплексе ANSYS можно выделить следующие особенности: рост напряжений в металлоконструкциях РВС имеет характер, близкий к линейному до достижения предела текучести – 325 МПа; при величинах осадки РВС-20000 более 10 см дополнительные жесткостные связи трубопровода (уголки равнополочные) со стенкой не вызывают

избыточных напряжений, которые могли бы служить причиной нарушения технического состояния РВС (максимальное значение напряжений при осадке 150 мм – 167 МПа); наибольшую опасность вызывают сварные соединения трубопровода и стенки с усиливающими воротниками, где в первую очередь возникает предельное состояние при указанных выше величинах осадки.

На рис. 5 представлен график, отражающий зависимость величины действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях узла сопряжения стенки с трубопроводом системы аварийного сброса нефти от уровня осадки РВС-20000.

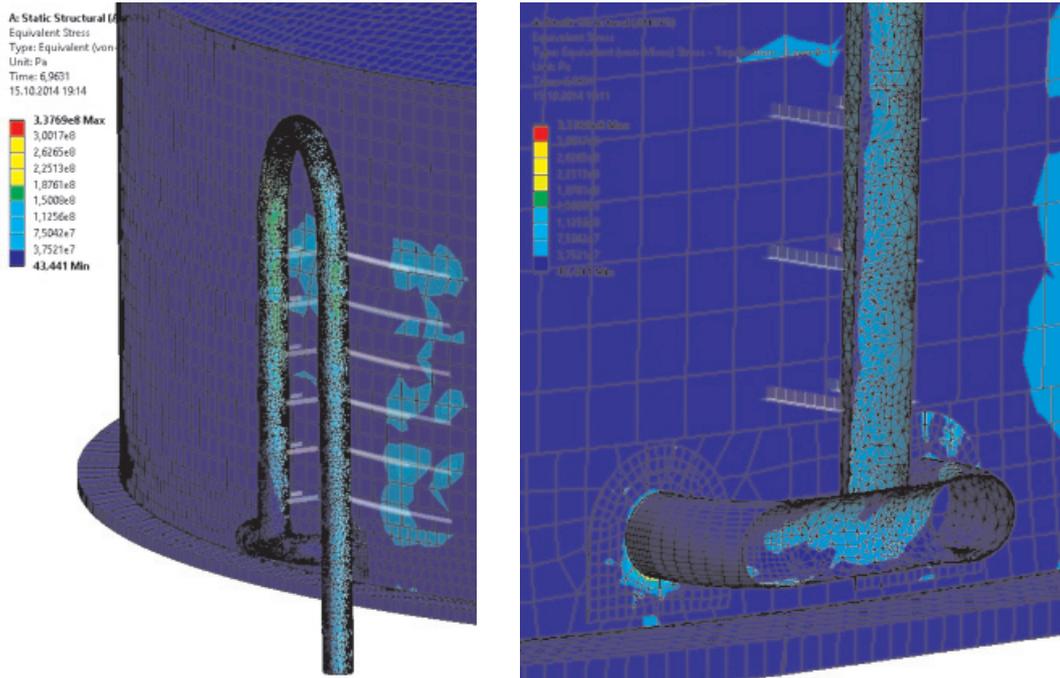


Рис. 4. Действующие эквивалентные напряжения в металлоконструкциях РВС-20000 в зоне узла сопряжения трубопроводов системы аварийного сброса нефти со стенкой

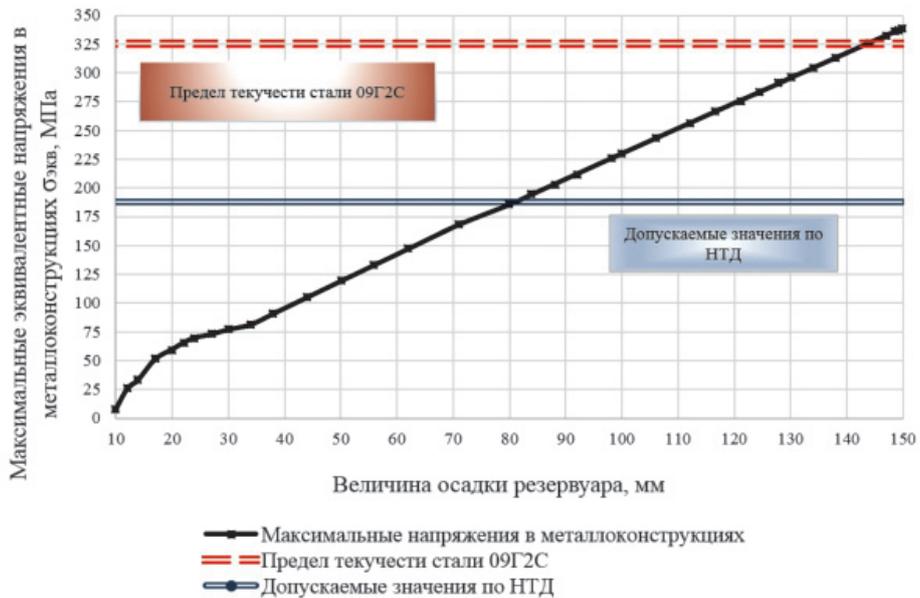


Рис. 5. Зависимость действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях узла сопряжения стенки с трубопроводом системы аварийного сброса от уровня осадки РВС-20000

Проанализировав полученные параметры НДС резервуара – деформации и напряжения, график зависимости величины максимальных действующих напряжений от уровня осадки, были сделаны следующие выводы.

Выводы

1. Создана конечно-элементная модель трубопроводов системы аварийного сброса

нефти с узлом подключения к резервуару РВС-20000. Для численного моделирования использован программный комплекс ANSYS Workbench 14.5, с помощью которого создана модель рассматриваемого узла с учетом геометрической и физической нелинейности конструкции.

2. Предложена расчетная схема деформирования сооружения при развитии осадки

основания. Изменение уровня НДС вызывается элементами дополнительной жесткости трубопровода системы аварийного сброса, имеющего сварной контакт со стенкой и жесткое защемление свободного торца в месте перехода под землю. При помощи составленной табулированной функции удалось определить величину осадки, при которой возникают критические напряжения в металле.

3. Получены зависимости величины максимальных действующих напряжений в металлоконструкциях узла сопряжения стенки с трубопроводом системы аварийного сброса от значений осадки РВС-20000. При осадке РВС более 80 мм действующие эквивалентные напряжения в стыке трубопровода со стенкой и воротником резервуара превышают предельно допустимые по НТД – 188 МПа (значение которых рассчитано в [12] для данного РВС-20000). При величине осадки резервуара 144 мм наступает предельное состояние в стенке и узле соединения с трубопроводом, при этом действующие напряжения превышают 325 МПа и металл переходит в состояние развития пластических деформаций.

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 приемораздаточного 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. 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.
10. Тарасенко М.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко А.А. Анализ результатов дефектоскопии коррозионных поврежденных резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2010. – № 5. – С. 78–82.
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 окрайки 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' truda v promyshlennosti, 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. Tihanov E.A., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no.6–2, pp. 330–334.
10. Tarasenko M.A., Sil'nijskiy P.F., Tarasenko A.A. Izvestijavuzov.Neft'igaz. 2010, no.5, pp. 78–82.
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 17.10.2014.