TECHNICAL SCIENCES

УДК 621.642.39.03

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ПОДСЛОЙНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЗЕРВУАРА ПРИ ОСАДКЕ ОСНОВАНИЯ

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

¹Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com; ²ООО НПП «Симплекс», Тюмень, e-mail: simplex rvs@mail.ru

Выполнено численное моделирование трубопровода системы подслойного пожаротушения ДУ100 на основе ранее разработанной модели PBC-20000. Реализован расчет деформирования конструкций резервуара при развитии осадок основания с помощью конечно-элементного программного комплекса ANSYS. При моделировании геометрии учтены основные проектно-конструктивные особенности реально эксплуатируемого объекта – резервуара PBC-20000 на ЛПДС «Торгили», Тюменская обл. Решена задача контактного взаимодействия элементов: трубопровод СППТ – стержневая связь – стенка PBC. Была использована модель «сварной контакт» – «spot weld» для расчета изменения НДС в металле в зонах влияния элементов дополнительной жесткости при развитии осадке PBC на величину 20 см эквивалентные напряжения в стенке не превышают 30 МПа. Сделаны предложения в части возможности применения компенсирующих устройств на технологических трубопроводах малого диаметра для минимизации рисков разрушения в случае развития осадок основания в частие возможности применения в случае развития осадок основания разривания разривания в случае развития осадок основания разривания разривания в случае развития осадок основания разривания в случае развития осадок основания разривания разривания в случае развития осадок основания разривания разривания разривания разривания разривания разривания в случае развития осадок основания разривания разривания разривания разривания разривания разривания разриван

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

ASSESSMENT OF PIPING SYSTEMS FIRE ON SUBSURFACE STRESS STATE OF TANKS AT DRAFT GROUNDS

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

¹Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com; ²Simplex, Tyumen, e-mail: simplex rvs@mail.ru

The numerical modeling of subsurface sprinkler piping DN100 based on a previously developed model RVS-20000. Implemented calculation of deformation structures in the development of reservoir sediment substrate using finite element software package ANSYS. When modeling the geometry considered basic design features really operated facilities – tank RVS-20000 at LPDS «Torgily», Tyumen region. The problem of contact interaction elements: SPPT pipeline – the pivotal connection – wall of tank. Model was used «welded contact» – «spot weld» to calculate the stress-strain state changes in the metal elements in the zones of influence of the additional stiffness in the development of rainfall base tank. The results obtained indicate stresses that during upsetting tank an amount equivalent to 20 cm in the wall does not exceed 30 MPa. Made suggestions regarding the possibility of using compensating devices to process small pipelines to minimize the risk of fracture in the case of sludge tank base.

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

При эксплуатации крупногабаритных вертикальных стальных резервуаров нередко приходится сталкиваться с проблемой осадок их оснований. Неравномерные осадки согласно [1] вызывают изменение напряженно-деформированного состояния конструкции РВС в различных узлах: стенке и уторном шве [14], опорном кольце [3], элементах стального покрытия [8]. Однако при наличии связей дополнительной жесткости – трубопроводов, патрубков и т.д. со стенкой даже равномерные по площади осадки могут вызвать опасные избыточные напряжения в металлоконструкциях резервуара. Учитывая неосесимметричный характер приложения нагрузок от элементов дополнительной жесткости при развитии осадок, существующие аналитические методики не позволяют с необходимой точностью оценить уровень НДС резервуара. Так, в работе авторов [5] численные методы с реализацией в программе ANSYS позволили оценить воздействие приемо-раздаточного патрубка на напряженное состояние резервуара PBC-20000 при развитии осадки основания.

Известно, что в составе технологической обвязки резервуаров присутствуют трубопроводы пожаротушения, аварийного орошения и т.д. Как правило, они посредством сварного соединения прикреплены к стенке через балки-связи различного профиля (уголок, швеллер, труба и др.). За пределами резервуара данные трубопроводы имеют отдельные от РВС фундаменты-стойки или вовсе проходят подземно с выходом на дневную поверхность непосредственно перед объектом. Обычно диаметр трубопроводов этих технологических систем не превышает 159 мм. Вследствие перечисленных особенностей при развитии осадок резервуара данные элементы не могут перемещаться совместно с корпусом РВС. Возникают деформации различных элементов и неосесимметричное изменение НДС металлоконструкций. В настоящей работе поставлена задача численно исследовать влияние трубопроводов системы подслойного пожаротушения (СППТ) на НДС конструкции при развитии осадки резервуара. На рис. 1 представлен резервуар РВС-20000 и обозначен рассматриваемый далее узел СППТ.



Рис. 1. Общий вид узла подключения трубопровода пожаротушения к РВС-20000

В [10] создана и верифицирована конечно-элементная модель PBC-20000 с помощью комплекса физического анализа ANSYS. На ее основе предлагается смоделировать процесс деформирования трубопровода СППТ при развитии осадки резервуара. Геометрические и конструкционные параметры модели приняты в соответствии с реально эксплуатируемым резервуаром на ЛПДС «Торгили» и его технологической обвязкой. Расчетная схема представляет собой опирающися на кольцевой фундамент резервуар с жестко закрепленным трубопроводом СППТ, имеющим контактные связи со стенкой типа «точечная сварка» - «spot weld». Такой тип контакта позволяет выполнить симулящию закрепления оболочечного тонкостенного трубопровода на стенке через балочные стержневые элементы, которым соответствует задаваемый металлический профиль – уголок равнополочный 100×100×7. Осадка РВС-20000 моделируется с помощью команды «displacement» – заданное перемещение, целевая геометрия которой – нижняя грань фундаментного кольца и нижняя плоскость центральной части днища. Перемещение устанавливается при помощи команды табулированных функций «tabular data» с предельными значениями осадки от 10 до 200 мм. Предельные значения определены на основании оценочного расчета в соответствии с рекомендованной

методикой [12]. Свободный торец трубопровода СППТ с диаметром ДУ100 жестко закреплен с полным запретом перемещений и вращений в осях глобальной системы координат. На рис. 2 представлена расчетная схема PBC-20000 с результатами разбиения на конечно-элементную сетку. Сетка создана в автоматическом режиме с зонами увеличенной дискретизации в контактных узлах элементов моделируемых металлоконструкций резервуара.

По завершении препроцессинговой подготовки модели – составления элементных матриц жесткости и внешних нагрузок, учета граничных условий с заданными нулевыми и ненулевыми смещениями узлов, запускается итерационный решатель ANSYS, в результате чего решаются системы разрешающих уравнений МКЭ. По завершении автоматизированного разложения матрицы коэффициентов и решения системы выполняется определение внутренних усилий в элементах PBC: составляются векторы перемещений для конечных элементов с необходимыми преобразованиями локальных систем координат, строятся матрицы напряжений и деформаций в отдельности для каждого конечного элемента. Результаты обрабатываются в рамках интерфейса ANSYS для дальнейшейшей постпроцессинговой обработки. Так, на рис. 3-4 представлены эпюры деформаций и напряжений

конструкции PBC-20000 и элементов р СППТ, полученные в результате модели- р

рования согласно предложенной авторами расчетной схеме.



Рис. 2. Расчетная схема РВС-20000 с ГУС при развитии осадки основания



Рис. 3. Деформации металлоконструкций PBC-20000 в местах соединения с трубопроводом пожаротушения

Результаты постпроцессинга позволили получить зависимости действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях стенки и трубопровода СППТ от величины осадки PBC-20000. На рис. 5 представлены графики с полученными функциональными зависимостями.

На графике рис. 5 также обозначены зоны наступления предельных состояний в металлоконструкциях. Первый горизонтальный отсекающий отрезок соответствует уровню допускаемых напряжений по НТД – 188 МПа [12]. Второй отсекающий отрезок соответствует наступлению предельного состояния в резервуарной стали $\sigma_{\rm T}$ 09Г2С = 325 МПа. При такой величине напряжений наступают опас-

ные пластические деформации в металле, приводящие к нарушению эксплуатационной пригодности конструкции или, в худшем случае, аварийному разрушению узла или элемента. Полученные зависимости позволяют утверждать, что жесткое соединение трубопровода СППТ при развитии осадки не вызывает сколько-нибудь опасных напряжений в стенке РВС-20000 даже при просадке резервуара на величину 200 мм. При этом возникают избыточные напряжения в самом трубопроводе ДУ100, достигающие значений предела текучести при осадке на величину около 20 см. Значения полученных результатов напряжений и деформаций позволяют сделать следующие выводы.



Рис. 4. Действующие эквивалентные напряжения в металлоконструкциях PBC-20000: а – в стенке; б – в трубопроводе пожаротушения



Рис. 5. Зависимость действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях стенки и трубопровода СППТ от величины осадки РВС-20000

Выводы

1. Выполнено численное моделирование трубопровода системы подслойного пожаротушения ДУ100 на основе ранее разработанной модели PBC-20000 в [10]. Реализован расчет деформирования конструкций резервуара при развитии осадок основания с помощью конечно-элементного программного комплекса ANSYS. При моделировании геометрии учтены основные проектно-конструктивные особенности реально эксплуатируемого объекта – резервуара РВС-20000 на ЛПДС «Торгили», Тюменская обл.

2. Решена задача контактного взатрубопровод имодействия элементов: СППТ – стержневая связь – стенка РВС. Была использована модель «сварной контакт» - «spot weld» для расчета изменения НДС в металле в зонах влияния элементов дополнительной жесткости при развитии осадки основания РВС.

3. Полученные результаты напряжений свидетельствуют о том, что при осадке РВС на величину 20 см эквивалентные напряжения в стенке не превышают 30 МПа. Однако при этих же значениях осадки

напряжения в самом трубопроводе СППТ достигают критических значений – 325 МПа, что соответствует пределу текучести стали 09Г2С и переходу кривой деформирования в зону пластических деформаций металла. Допускаемые же напряжения – 188 МПа (по НТД) в трубопроводе ДУ100 СППТ превышаются уже при величине осадки 115 мм, в стенке, в свою очередь напряжения составляют 25 МПа.

4. Исходя из того, что осадки основания резервуара с подключенными трубопроводами СППТ могут вызывать предельные напряжения в самих элементах дополнительной жесткости, не подвергая реальной опасности элементы корпуса РВС, необходимо рассмотреть и обосновать возможность применения устройств компенсаций перемещений для технологических трубопроводов малого диаметра, таких как СППТ с условным диаметром 100 мм.

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., Чепур П.В. Напряженно-деформированное состояние верхнего опорного кольца резервуара при неосесимметричных деформациях корпуса // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–3. – С. 525–529.

4. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Определение действующих напряжений от подъемных устройств при ремонте фундамента резервуара // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–11. – С. 2421–2425.

5. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Кузовников Е.В., Тарасенко Д.А. Расчет напряженно-деформированного состояния приемо-раздаточного патрубка с дефектом с целью обоснования возможности его дальнейшей эксплуатации // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–7. – С. 1471–1476.

6. 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.

7. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Шарков А.Е., Гретченко Д.А. Технология диагностики вертикальных стальных резервуаров без снятия антикоррозионного покрытия // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–8. – С. 1703–1708.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

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., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no.9-11, pp. 2421-2425.

4. Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no.11–3, pp. 525–529.

5. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Kuzovnikov E.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no.9–7, pp. 1471–1476.

6. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no.6–3, pp. 485–489.

7. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Sharkov A.E., Gretchenko D.A. Fundamental research, 2014, no.9–8, pp. 1703–1708.

8. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. Fundamental research, 2013, no.10–15, pp. 3409–3413.

9. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. Bezopasnost 'trudavpromyshlennosti, 2014, no.5, pp. 60–63.

10. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2013, no.10–15, pp. 3404–3408.

11. Tihanov E.A., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no.6–2, pp. 330–334.

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 12.11.2014.