

Характерные дефекты фланцевых соединений опор молниеприемников

Т.В. Потапова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: Тема молниезащиты хранилищ нефтепродуктов является актуальной, так как аварии на подобных промышленных объектах могут повлечь за собой человеческие жертвы, нанести значительный ущерб инфраструктуре и окружающей среде. Статья посвящена выявлению типичных дефектов фланцевых соединений опор молниеприемников. В качестве объекта исследования выбраны башни высотой 55 м, построенные в 2000 году в городе Новороссийске как часть резервуарного парка. Исследуемые башни состоят из трех поясов, выполненных из круглых стальных труб. Секции поясов стыкуются между собой при помощи болтовых фланцевых соединений. В результате анализа технической документации были выявлены следующие основные повреждения: дефекты сварных соединений труб поясов с ребрами жесткости; катеты швов, превышающие допустимую величину; радиальное смещение и зазоры между фланцами; наличие влаги и коррозии. В статье делаются выводы о причинах возникновения указанных дефектов, а также приводятся рекомендации по их устранению для применения при дальнейших обследованиях технического состояния фланцевых соединений стальных конструкций.

Ключевые слова: болт, болтовое соединение, дефект, молниеприемник, обследование, решетчатая башня, сталь, стальная башня, фланец, фланцевое соединение.

Резервуары для хранения топлива являются пожаро- и взрывоопасными промышленными объектами. Предотвращение аварий данных сооружений является важным вопросом обеспечения энергетической безопасности [1]. Попадание молнии в резервуар может привести к возгоранию и разливу нефтепродуктов, значительному материальному ущербу и человеческим жертвам [2]. Пожары в результате удара молнии составляют 8% от числа всех аварий хранилищ топлива [3].

В резервуарных парках устанавливаются молниеприемники, располагаемые на расстоянии от защищаемых объектов [4]. В качестве опор часто используются стальные решетчатые башни с поясами из круглых труб, соединенных с помощью фланцев [5]. Достоинством таких сооружений являются их прочность, малый вес и простота монтажа. При этом в стыках

поясов происходит концентрация напряжений, что делает их наиболее уязвимыми частями сооружения [6].

Проведение инженерного обследования технического состояния конструкций является необходимым условием своевременного выявления и устранения причин возникновения повреждений. Цель статьи заключается в установлении типичных дефектов опор молниеприемников на примере изучения реальных сооружений. В качестве объекта исследования были выбраны 16 опор молниеприемников, построенных в городе Новороссийске в 2000 и введенных в эксплуатацию в 2022 году с целью защиты резервуаров для нефти объемом 100000 м³.

Башни, представляющие собой пространственные трехгранные металлические фермы, имеют высоту 55 м. Каждая из опор состоит из трех секций высотой от 16,5 до 20,5 м. Они имеют форму правильных призм со стороной грани от 2336 до 2500 мм, которая уменьшается с высотой. Стык первой и второй секций располагается на отметке +20,660 м, второй и третьей – на отметке +38,660 м. На рис. 1 представлен внешний вид опоры молниеприемника.



Рис. 1. – Внешний вид опоры молниеприемника

Основными несущими конструкциями башен являются пояса, изготовленные из труб диаметром от 530 до 720 мм. Совместная работа поясов, уменьшение их расчетной длины и повышение жесткости сооружения обеспечиваются крестообразной решеткой в четырех уровнях из прокатных швеллеров №22У по ГОСТ 8240-97 «Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент».

Крепление поясов смежных секций выполнено с помощью кольцеобразных фланцев толщиной 35 мм, соединенных 8 болтами М30. Для увеличения жесткости фланцев устроены 8 ребер высотой 250 мм и толщиной 20 мм.

Башня имеет 6 площадок из стального настила по прокатным швеллерам для обслуживания, крепления лестниц и конструкций для прокладки кабелей.

База сооружения выполнена из стальной плиты толщиной 40 мм с четырьмя опорными ребрами высотой 400 и толщиной 25 мм на каждый пояс. Фундамент столбчатый из монолитного железобетона.

Климатические условия в районе строительства опор молниеприемников можно охарактеризовать как неблагоприятные. Город Новороссийск относится к VI ветровому и III гололедному району с сейсмической интенсивностью 9 баллов [7].

В 2006 году службой эксплуатации было зафиксировано разрушение болтов во фланцевом соединении одной из опор на отметке +20,660 м. В зоне сварных швов, прикрепляющих ребра к трубе пояса, образовались трещины. Было обнаружено смещение верхнего фланца по отношению к нижнему. В результате данное соединение было укреплено 8 дополнительными ребрами и соединительными накладками на фланцы. В том же году было проведено обследование опор для выявления необходимости их ремонта [8]. Аналогичные трещины были обнаружены еще на двух башнях, после чего

все три узла были усилены по специально разработанному проекту. Еще одно техническое обследование было проведено в 2008 году.

Анализ документации позволил выявить следующие основные дефекты соединений опор молниеприемников:

- 1) зазор у наружной кромки по окружности фланцевого стыка (рис. 2);
- 2) смещение верхнего фланца относительно нижнего, превышающее допустимую величину в 3 мм [7] (рис. 3);
- 3) щупы толщиной более 0,1 мм входят в стык практически полностью, что не соответствует требованиям нормативной документации [7];
- 4) трещины в отдельных шайбах;
- 5) смещение верхнего ребра относительно нижнего (рис. 4);
- 6) повреждения и дефекты сварных соединений: поры, подрезы, чешуйчатость, изменение катета по длине шва;
- 7) катеты швов в местах крепления ребер к поясам, превышающие величину $1,2t$, что не соответствует требованиям п. 14.1.7а СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»;
- 8) микротрещины в защитном покрытии и деформации околошовной зоны трубы в местах крепления ребер;
- 7) присутствие воды, продуктов коррозии и биологических образований в отдельных стыках.

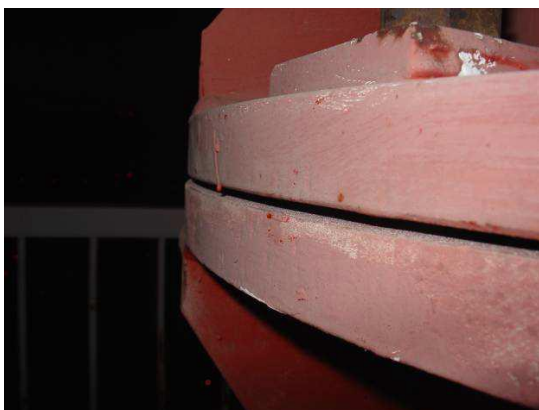


Рис. 2. – Зазор у наружной кромки по окружности фланцевого стыка



Рис. 3. – Смещение верхнего фланца относительно нижнего



Рис. 4. – Смещение верхнего ребра относительно нижнего

Нарушение технологии и требований к сварным соединениям приводит к возникновению трещин и деформаций в околошовной зоне труб, где происходит локальная концентрация напряжений [9]. В узлах с такими трещинами, а также при превышении допустимого зазора фланцевого соединения напряжения в болтах от изгибной составляющей существенно превосходят временное сопротивление стали. С увеличением зазора усилия в болтах возрастают и перераспределяются [10]. Изменение схемы работы болтов приводит к их разрушению.

Недостаточное проветривание полостей труб вызывает скопление в них конденсата и дождевой воды, проникающей через зазоры во фланцевых соединениях. Для улучшения циркуляции воздуха выполняют дополнительные отверстия в опорной и верхней части поясов с усилением зоны вокруг них. При наличии загрязнений зазоров стыков выполняют их прочистку. Устраняют продукты коррозии и восстанавливают защитное покрытие.

Для дальнейшей эксплуатации сооружений с подобными повреждениями устанавливают мониторинг за состоянием конструкций для того, чтобы принять решение о необходимости их комплексного усиления в случае развития дефектов со временем.

При выполнении работ по техническому обследованию стальных опор молниеприемников необходимо уделять повышенное внимание указанным характерным дефектам фланцевых соединений, приводящим к снижению несущей способности конструкций, а также учитывать их наличие при выполнении поверочных расчетов.

Литература

1. Абрамян С.Г., Бурлаченко О.В., Плешаков В.В., Оганесян О.В., Бурлаченко А.О. Характерные дефекты и повреждения, снижающие эксплуатационную надежность стальных вертикальных резервуаров // Инженерный вестник Дона, 2022, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7501.

2. Wu D., Chen Z. Quantitative risk assessment of fire accidents of large-scale oil tanks triggered by lightning // Engineering Failure Analysis, 2016, vol. 63, pp. 172-181. URL: doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.11.029.

3. Баязитов М.И., Бердин В.К., Кузеев И.Р., Тляшева Р.Р. Оценка напряженно-деформированного состояния вертикальных резервуаров с

нефтепродуктами с учетом внештатных ситуаций // Нефтегазовое дело. 2022. №4. С. 21-45 URL: doi.org/10.17122/ogbus-2022-4-21-45.

4. Могильнер Л.Ю., Скуридин Н.Н., Власов Н.А., Хузяганиев И.А. Применение методов неразрушающего контроля качества при обследовании состояния систем молниезащиты пожаровзрывоопасных объектов // Дефектоскопия. 2020. №11. С. 58-64. URL: doi.org/10.31857/S0130308220110068.

5. Khedr M.A. Design of circular steel flange plates subjected to tension loads – yield line approach // Journal of Constructional Steel Research, 2021, vol. 187 URL: doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106995.

6. Zhao G., Li J., Zhang M., Yi Y. Experimental study on the bearing capacity and fatigue life of lightning rod structure joints in high-voltage substation structures // Thin-Walled Structures, 2022, vol. 175. URL: doi.org/10.1016/j.tws.2022.109282.

7. Кунин Ю.С., Потапова Т.В., Музыченко С.Г. Диагностика уникального сооружения – радиобашни высотой 100 метров // Строительное производство. 2023. №2. С. 54-61. URL: doi.org/10.54950/26585340_2023_2_54.

8. Стасева Е.В., Федина Е.В. Системный подход к мониторингу технического состояния зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2172.

9. Лампси Б.Б., Маркина Ю.Д. Исследование напряженно-деформированного состояния фланцевых соединений стальных башенных сооружений // Приволжский научный журнал. 2020. №1 (53). С. 11-15 URL: elibrary.ru/dhrprf.

10. Туснин А.Р., Платонова В.Д. Экспериментальные исследования влияния зазоров во фланцевых соединениях на напряженно-



деформированное состояние узла // Вестник МГСУ. 2023. №18 (11). С. 1763-1779 URL: doi.org/10.22227/1997-0935.2023.11.1763-1779.

References

1. Abramyan S.G., Burlachenko O.V., Pleshakov V.V., Oganesyanyan O.V., Burlachenko A.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7501.
2. Wu D., Chen Z. Engineering Failure Analysis, 2016, vol. 63, pp. 172-181. URL: doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.11.029.
3. Bayazitov M.I., Berdin V.K., Kuzeev I.R., Tlyasheva R.R. Neftegazovoe delo. 2022. №4. Pp. 21-45 URL: doi.org/10.17122/ogbus-2022-4-21-45.
4. Mogilner L.Yu., Skuridin N.N., Vlasov N.A., Khuzyaganiev I.A. Defektoskopiya. 2020. №11. Pp. 58-64. URL: doi.org/10.31857/S0130308220110068.
5. Khedr M.A. Journal of Constructional Steel Research, 2021, vol. 187. URL: doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106995.
6. Zhao G., Li J., Zhang M., Yi Y. Thin-Walled Structures, 2022, vol. 175 URL: doi.org/10.1016/j.tws.2022.109282.
7. Kunin Yu.S., Potapova T.V., Muzychenko S.G. Stroitel'noe proizvodstvo. 2023. №2. Pp. 54-61 URL: doi.org/10.54950/26585340_2023_2_54.
8. Staseva E.V., Fedina E.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2172.
9. Lampsii B.B., Markina Yu.D. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2020. №1. (53). Pp. 11-15. URL: elibrary.ru/dhrprf.
10. Tusnin A.R., Platonova V.D. Vestnik MGSU. 2023. №18 (11). Pp. 1763-1779. URL: doi.org/10.22227/1997-0935.2023.11.1763-1779.

Дата поступления: 28.03.2024

Дата публикации: 8.05.2024