

Характерные дефекты и повреждения, снижающие эксплуатационную надежность стальных вертикальных резервуаров

*С.Г. Абрамян, О.В. Бурлаченко, В.В. Пleshakov, О.В. Оганесян,
А.О. Бурлаченко*

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Подчеркивается важность обеспечения надежной эксплуатации стальных вертикальных резервуаров. На основании анализа ряда научных публикаций и нормативных документов представлены наиболее характерные дефекты по группам, от совокупности которых зависит выбор метода капитального ремонта или реконструкции резервуаров. В соответствии с приведенными данными, рассмотрены наиболее распространенные методы капитального ремонта и реконструкции стальных вертикальных резервуаров. Отмечается необходимость разработки организационно-технологических решений на основе информационных технологий, с применением серверов по контролю через системы ГЛОНАСС/GPS, что позволит в рамках мониторинга своевременно обнаруживать дефекты и повреждения конструктивных элементов на этапе эксплуатации и обеспечивать их устранение с целью увеличения остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров.

Ключевые слова: остаточный ресурс, причины возникновения дефектов, сварные швы, трещины, методы производства работ.

Обеспечение надежной эксплуатации трубопроводного транспорта углеводородных продуктов, в состав которого входят стальные вертикальные резервуары для хранения этих же продуктов, является одним из ключевых направлений сохранения национальной (в том числе энергетической и экологической) безопасности страны [1–3]. В научной публикации [1] отмечается, что к ключевым темам, влияющим на безопасность в сфере энергетики, относятся высокая изношенность основных фондов и недостаточное инвестирование в развитие различных отраслей топливно-энергетического комплекса. Актуальность работ [4, 5] заключается в решении проблемы надежной эксплуатации стальных вертикальных цилиндрических резервуаров на основе повышения остаточного ресурса. В частности, исследуются резервуары «с трещинами и вмятинами дефектов с учетом их размеров, расположения в конструкции резервуара и

эксплуатационных нагрузок с использованием конечно-элементного моделирования».

Причинами дефектов, проявляющихся на стадии эксплуатации РВС (резервуары вертикальные стальные) и приводящих к их износу, прежде всего являются ошибки в проектировании, а также различные изменения, затрагивающие: а) эксплуатационные условия; б) характер внешних нагрузок; в) сечения несущих конструкций стальных резервуаров. Кроме того, необходимо обязательно учитывать изменения прочностных характеристик элементов конструкций, возникающих в течение продолжительного эксплуатационного периода.

Анализ научных публикаций [6, 7] показывает, что в целом такие же причины возникновения дефектов присущи магистральным нефтегазопроводам.

Как известно, при эксплуатации РВС подвергаются воздействию целого комплекса различных факторов. В первую очередь речь идет о так называемой малоцикловой усталости, которая возникает вследствие заполнения-опорожнения РВС, и о коррозионных процессах на незащищенных элементах конструкций, вызванных присутствием в нефти и нефтепродуктах различных агрессивных примесей. На тех участках, где концентрируются напряжения, наблюдается интенсивное накопление усталостных повреждений.

В целом все дефекты, возникающие при эксплуатации РВС, дифференцируются следующим образом:

1) дефекты, связанные с нарушением геометрии резервуара, среди которых: вмятины и выпучины на поверхности резервуара; угловатость сварных швов его стенки; отклонения образующих стенки от вертикали и отклонения контура днища от горизонтали; осадка основания РВС; так называемые хлопуны, т. е. растянутые участки, на которых днище резервуара

прогибается при изменении нагрузки; изгиб окраек днища и некоторые другие;

2) дефекты, возникающие непосредственно на металлических конструктивных элементах, иными словами, дефекты основного металла, среди них: коррозия и различные виды механических повреждений, таких, как царапины, поверхностные задиры, вырывы, а также различные расслоения, в том числе в виде трещин, и дефекты сварных соединений – непровары, нарушения однородности металла (несплошности) и др.;

3) дефекты, обусловленные наличием недопустимых конструктивных элементов, т. е. элементов или соединительных деталей, которые не отвечают требованиям действующих в настоящее время нормативно-технических документов.

Для того, чтобы избежать быстрого износа цилиндрических РВС на стадии эксплуатации, следует проводить обследование конструктивных элементов на предмет выявления тех зон, которые в наибольшей степени подвержены напряжению, а также участков потенциального возникновения дефектов материала. Для реализации этих задач необходимо составить программу соответствующей технической диагностики.

Согласно исследованию [8], в наибольшей степени коррозионному воздействию подвержена нижняя часть корпуса РВС, поскольку отстаиваемая вода, загрязненная нефтепродуктами, является причиной коррозионного поражения днища резервуара. Кроме того, в данной работе отмечается, что процессы коррозии наблюдаются также в верхней части резервуара и на кровле под влиянием паров нефтепродуктов, содержащих довольно агрессивные коррозионно-активные агенты.

В другой научной публикации [9] авторами приводятся совершенно иные данные, более укрупненные, и указаны дефекты технологического оборудования.

При таком процентном соотношении дефектов [9] происходит полный отказ резервуаров или же нужен капитальный ремонт. Отметим, что технологические процессы капитального ремонта и реконструкции РВС идентичны.

Как подчеркивает автор публикации [8], самую серьезную опасность для РВС представляют, во-первых, дефекты сварных швов в виде трещин и, во-вторых, неравномерная осадка основания резервуара.

Наиболее уязвимыми для повреждений местами РВС принято считать те, где отмечается высокая концентрация напряжений, а именно: уторные швы, дефекты которых могут стать причиной возникновения хрупких трещин; участки, где располагаются технологические отверстия и имеются заплаты в стенке.

По мнению автора работы [8], эксплуатационная надежность РВС должна обеспечиваться не только за счет точного следования всех условий типового проекта, но и благодаря организации своевременной эффективной технической диагностики, на результатах которой делаются выводы об остаточном ресурсе РВС. И здесь очень актуально применение BIM-технологий (BIM – Building Information Modeling).

Чтобы разработать BIM-сценарии для стадии эксплуатации РВС, необходимо определить основные характеристики дефектов сварного соединения, основного металла, нарушений геометрической формы резервуара, износа и отказа оборудования, дефектов понтонов и плавающих крыш и цифровать их по подгруппам.

Используя действующие нормативные документы и научные исследования, предлагается создать цифровую базу данных по дефектам и повреждениям, основные из которых представлены на рис. 1 с указанием номеров (1.1 – 5.5) цифровой информации.



Рис. 1. – Наиболее характерные дефекты, от совокупности которых зависит выбор метода капитального ремонта или реконструкции РВС

На рис. 2 представлена модель наиболее распространенных методов капитального ремонта (или реконструкции) стальных вертикальных резервуаров, которая разработана на основании данных, указанных на рис. 1.

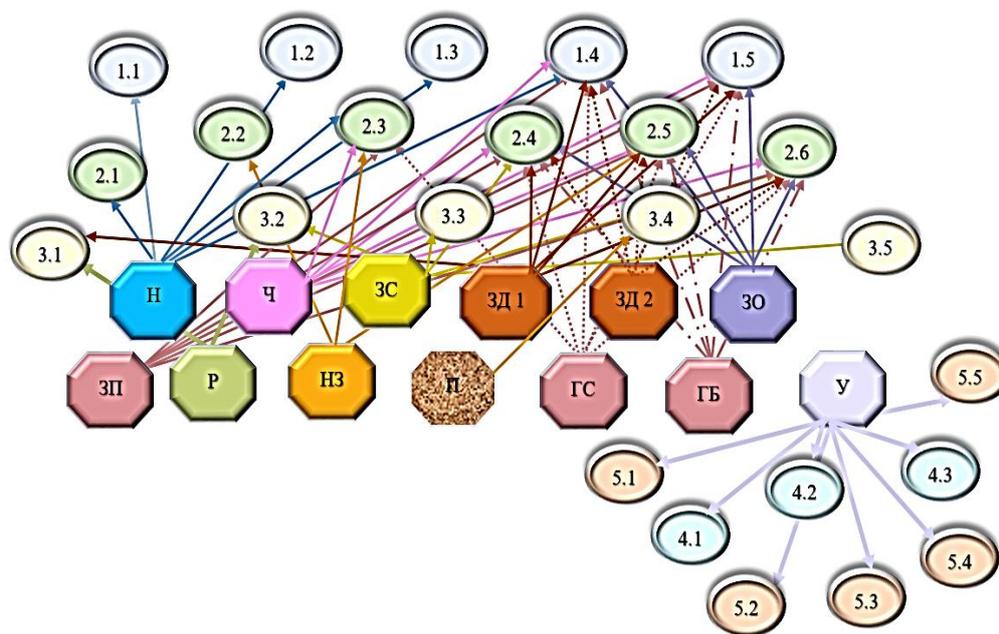


Рис. 2. – Модель наиболее распространенных методов капитального ремонта и реконструкции стальных вертикальных резервуаров: Н – наплавка, заварка дефектов; Ч – частичная замена (с вырезкой и вставкой дефектного участка);

ЗД1 – полная замена днища листовым методом; ЗД2 – полная замена днища рулонным методом; ЗО – полная замена окраек днища; ЗС – замена участков стенки; ЗП – полная замена покрытия; НЗ – ремонт наложением заплат на днище или покрытие; Р – установка ребер или колец жесткости;

П – ремонт неравномерной осадки наружного контура днища методом подъема или опускания; ГБ – ремонт негерметичности безогневыми методами; У – установка нового оборудования взамен устаревшего,

изношенного, при отказах оборудования и т. п.; АП – нанесение антикоррозионного покрытия (методы капитального ремонта конструктивных элементов РВС и их условное обозначение приняты согласно [9])

Выборка наиболее часто встречающихся дефектов и повреждений при различных методах капитального ремонта (или реконструкции) позволяют выявить наиболее характерные дефекты и повреждения РВС. В частности, представленные на рис. 3 диаграммы составлены на основании данных, представленных на рис. 1.

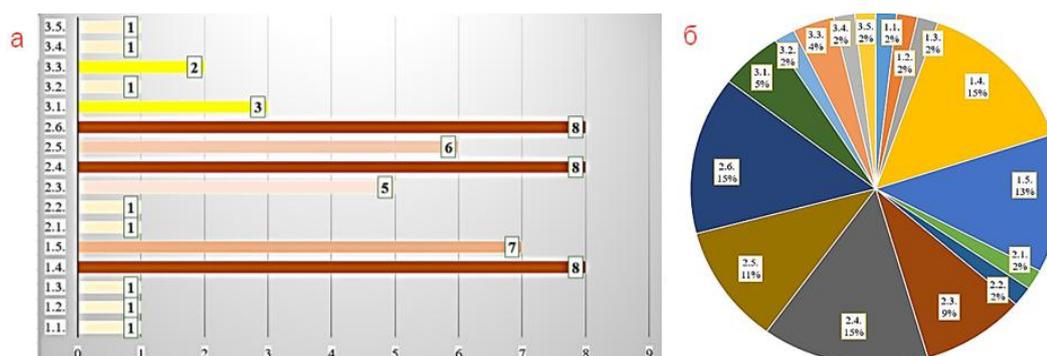


Рис. 3. – Наиболее распространенные дефекты и повреждения РВС, возникающие на стадии эксплуатации: *а* – количество; *б* – процентное отношение

К наиболее опасным и значительно влияющим на остаточный ресурс РВС на стадии эксплуатации повреждениям и дефектам относятся: коррозия сварных швов и основного металла (в том числе и локальные коррозионные повреждения основного металла) – 39 %; трещины любых размеров сварных швов и основного металла – 28 %; свищи, сквозные отверстия основного металла – 11 %; хлопунуны, вмятины – 5 %; угловатость монтажных швов – 4 %; остальные, рассматриваемые под номерами 1.1–1.3; 3.2; 3.4 и 3.5 (см. рис. 1), дефекты и повреждения составляют по 2 %.

Данные диаграммы позволяют обратить особое внимание на потенциально проблемные моменты при мониторинге на стадии эксплуатации и разработать необходимые организационно-технологические решения с применением серверов по контролю через системы ГЛОНАСС/GPS, по аналогии с методикой, представленной в научной

публикации [10]. Это позволит повысить остаточный ресурс РВС на стадии эксплуатации.

Итак, в заключение отметим:

- выбор методов капитального ремонта (или реконструкции) зависит от совокупности дефектов и повреждений, которые возникают на стадии эксплуатации вертикальных стальных резервуаров. К наиболее опасным и значительно влияющим на остаточный ресурс РВС на стадии эксплуатации повреждениям и дефектам относятся: коррозия сварных швов и основного металла (в том числе и локальные коррозионные повреждения основного металла) – 39 %; трещины любых размеров сварных швов и основного металла – 28 %; свищи, сквозные отверстия основного металла – 11 %.

- своевременный мониторинг и обнаружение дефектов и повреждений конструктивных элементов РВС на этапе эксплуатации и их устранение позволяют увеличить остаточный ресурс РВС. Для этого следует разработать необходимые организационно-технологические решения на основе ВМ, с применением серверов по контролю через системы ГЛОНАСС/GPS.

Литература

1. Пимнев А.Л., Земенкова М.Ю. Оценка остаточного ресурса при мониторинге надежности резервуаров в изменяющихся условиях эксплуатации // Фундаментальные исследования. 2015. № 11-2. С. 292-296.
2. Васильев Г. Г., Сальников А. П. Анализ причин аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтяное хозяйство. 2015. № 2. С. 106-108.
3. Абрамян, С.Г. Аспекты экологической безопасности реконструкции и эксплуатации магистральных трубопроводов // Национальная безопасность России: актуальные аспекты: материалы всерос. науч.-практ. конф., (Санкт-Петербург, сент. 2018) : сб. избр. ст.. - Санкт-Петербург, 2018. С. 103-106.
4. Dmitrieva A. S., Samigullin G.H., Lyagova A. A. Evaluation of stress-strain



state of steel cylindrical tank with crack defect using ANSYS software // International Forum on Contest of Young Researchers. Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. 2019, pp. 97-103.

5. Dmitrieva A. S., Schipachev A. M., Lyagova A. A. Numerical analysis of stress-strain state of vertical steel tanks with defects // 15th International Forum-Contest on Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. 2020, pp. 796-803.

6. Гостинин И.А., Вирясов А.Н., Семенова М.А. Анализ аварийных ситуаций на линейной части магистральных газопроводов // Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1618.

7. Беляков Р.В., Томарева И.А. Разработка программного продукта для оценки малоцикловой долговечности по критерию зарождения трещины // Инженерный вестник Дона. 2020. №12. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n12y2020/6704.

8. Сафина И.С., Каузова П.А., Гушин Д.А. Оценка технического состояния резервуаров вертикальных стальных // Технадзор. 2016. №3(112). URL: strategnk.ru/about/stati/statya1/statya1

9. Гумеров А.Г., Султанов М.Х., Гималетдинов Г.М., Саттарова Д.М. К ремонту железобетонных и стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000 – 50000 м³ // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2004. № 63. С. 135-148.

10. Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О. Система управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием цифровых технологий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 305-313.

References

1. Pimnev A.L., Zemenkova M.Ju. Fundamental'nye issledovanija. 2015. № 11-2, pp. 292-296.
2. Vasiliev G. G., Salnikov A. P. Neftjanoe hozjajstvo, 2015. № 2, pp. 106-108.
3. Abramyan S. G. Nacional'naja bezopasnost' Rossii: aktual'nye aspekty: materialy vseros. nauch.-prakt. konf., (Sankt-Peterburg, sent. 2018): sb. izbr. st. Sankt-Peterburg, 2018, pp. 103-106.
4. Dmitrieva A. S., Samigullin G.H., Lyagova A. A. International Forum on Contest of Young Researchers. Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. 2019, pp. 97-103.
5. Dmitrieva A. S., Schipachev A. M., Lyagova A. A. 15th International Forum-Contest on Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. 2020, pp. 796-803.
6. Gostinin I.A., Viryasov A.N., Semenova M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1618.
7. Belyakov R.V., Tomareva I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №12. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n12y2020/6704.
8. Safina I.S., Kauzova P.A., Gushchin D.A. Tehnadzor, 2016, №3 (112).
9. Gumerov A.G., Sultanov M.Kh., Gimaletdinov G.M., Sattarova D.M. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov, 2004, № 63, pp. 135-148.
10. Abramyan S. G., Burlachenko O. V., Oganessian O. V., Burlachenko A. O. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura, 2021, vyp. 4(85), pp. 305-313.