

ПУТИ СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ МОНТАЖЕ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Аушев И.Ю., Балуга А.С.

Цель. Разработка комплекса мероприятий по снижению количества дефектов сварных соединений при монтаже вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

Методы. Общая методология работы предусматривала использование теоретических методов исследования (анализ, синтез, сравнение).

Результаты. Проведен анализ основных причин разрушения вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Показано, что основными дефектами, приводящими к аварии в процессе монтажа и эксплуатации резервуаров, являются трещиноподобные дефекты сварных швов. Разработан комплекс мероприятий по снижению количества дефектов сварных соединений при монтаже.

Область применения исследований. Результаты обзора и анализа сведений о причинах дефектов вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов могут быть использованы при проведении монтажных работ конструктивных элементов.

Ключевые слова: резервуар стальной вертикальный, сварное соединение, дефекты сварных соединений, разрушение сварных швов.

(Поступила в редакцию 10 апреля 2023 г.)

Введение

Стальные вертикальные резервуары цилиндрической конструкции (далее – РВС) для хранения нефти и нефтепродуктов являются достаточно ответственными инженерными сооружениями, аварии на которых могут привести к значительному экологическому и экономическому ущербу, во много раз превышающему стоимость сооружения. Целый сегмент по добыче, транспортировке и переработке нефти и нефтепродуктов не сможет функционировать должным образом без использования РВС для их хранения и отпуска. Поэтому во всем мире вопросам предотвращения аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации резервуаров уделяется пристальное внимание.

Однако, несмотря на внедрение на предприятиях топливно-энергетического комплекса систем управления охраной труда, экологического менеджмента, менеджмента качества, обеспечивающих промышленную и экологическую безопасность, эксплуатация РВС сопровождается случаями возгорания, взрывами и разрушением сооружений.

В данной работе проведен анализ основных причин разрушения РВС и предложен ряд мероприятий по их предотвращению на примере нефтесборного пункта «Виша», расположенного на территории Октябрьского района Гомельской области.

Основная часть

На нефтеперерабатывающих предприятиях Республики Беларусь для хранения нефти и нефтепродуктов используются резервуары различных конструктивных исполнений. В нашей стране эксплуатируется более 700 резервуаров, общим объемом порядка 1,5 млн м³. Наиболее распространенными являются РВС [1].

Главные конструктивные элементы РВС: корпус, крыша, основание. Сборка и сварка конструктивных элементов производится на монтажной площадке полистовым способом или рулонированием, когда на заводе из отдельных листов свариваются полотнища корпуса и днища. Затем полотнища сворачиваются в рулоны и транспортируются на монтажную площадку, где производят их развертывание в проектное положение. Рулонирова-

ние существенно сокращает трудоемкость изготовления и повышает качество сварочных работ [2].

Анализ литературных источников показал, что наиболее распространенными авариями РВС являются: хрупкое разрушение (63,1 %), взрывы и пожары (12,4 %) [3; 4]. Основные причины разрушения РВС [5]: заводские дефекты листового материала, дефекты монтажа конструктивных элементов, нарушение правил технической эксплуатации, низкий контроль качества строительно-монтажных работ, объективные факторы условий эксплуатации, стихийные бедствия (рис. 1).



Рисунок 1. – Основные причины разрушения РВС

Предотвратить заводские дефекты и дефекты монтажа, обеспечить качество строительно-монтажных работ в большинстве случаев можно лишь до ввода резервуара в эксплуатацию путем соблюдения технологии изготовления материалов и конструкций, правил монтажа конструктивных элементов, а также качественного входного контроля материалов и профессионального технического надзора за строительством.

Вызываемые воздействием окружающей среды при эксплуатации РВС перепады температур и осадка оснований, а также стихийные бедствия – это процессы, которые невозможно в достаточной степени контролировать персоналу предприятия. В данном случае предупреждающие аварии действия сводятся к своевременному диагностированию, техническому обслуживанию и ремонту сооружения.

Из литературных источников следует, что прочность и долговечность резервуара, как сварной конструкции, во многом определяется качеством сварных швов. Дефекты сварных швов РВС составляют около 25 % от основных дефектов, образующихся в процессе его монтажа и эксплуатации [7; 8].

При снижении температуры окружающей среды в процессе эксплуатации, при развитии коррозии стенок РВС и сварных соединений, интенсивность которой зависит от вида хранимого нефтепродукта, а также продолжительности эксплуатации в нагруженном состоянии влияние дефектов на разрушение сварного шва значительно повышается.

Результаты натурных обследований технического состояния резервуарных парков Республики Коми показывают [7], что износ корпуса резервуара с продолжительностью эксплуатации 10 лет при хранении угленосной нефти составляет более 35 %, бензинов – более 15 %, сырой нефти – около 10 %, а при увеличении срока эксплуатации в 2 раза показатели износа также увеличиваются практически в 2 раза.

Наиболее опасными являются трещиноподобные дефекты сварных швов. Трещины признаются экспертами недопустимыми дефектами, т.к. являются концентраторами напряжений, приводящих к разрушению сварного соединения. Образуются они в виде разрыва в сварном шве или в зоне термического влияния сначала с очень малым раскрытием, однако в дальнейшем под действием нагрузок происходит их развитие, что приводит к разрушению конструкции.

Основными причинами образования трещин чаще всего является нарушение технологии сварочных работ и неверный подбор режимов сварки. Например, при очень быстром охлаждении сварного соединения растворенный атомарный водород, оставшийся в сварочной ванне, может приводить к появлению холодных трещин. Причинами попадания водорода могут служить некачественно подготовленные, непросушенные кромки свариваемых изделий или сварочные материалы, сварка в сырую погоду (снег или дождь), а также нарушение технологии защиты сварочной ванны.

Высокая скорость охлаждения свариваемых изделий из углеродистых сталей приводит к образованию в околошовной зоне закалочных микроструктур с высокими внутренними напряжениями, возникающими во время фазовых превращений, что снижает прочностные свойства металла. Снизить скорость охлаждения после сварки можно либо увеличением погонной энергии при сварке (увеличив силу сварочного тока или уменьшив скорость перемещения электрода), либо предварительным подогревом изделия. Увеличение погонной энергии при сварке допустимо только в ограниченных пределах, а также зависит от квалификации сварщика. Поэтому основным способом, влияющим на снижение скорости охлаждения металла при сварке, является предварительный подогрев свариваемого изделия, что также является технологическим приемом снижения риска появления горячих трещин.

Под влиянием переменных нагрузок, обусловленных циклами заполнения-опорожнения, в сварных швах развиваются вертикальные трещины, на появление которых существенное влияние оказывает время года. Образование основной доли трещин приходится на холодные месяцы года (рис. 2).

Появление перечисленных дефектов у резервуаров зависит не только от неблагоприятных климатических условий региона, но и от продолжительности эксплуатации в этих условиях. Наибольшее количество дефектов и повреждений у РВС наблюдается в начальный период эксплуатации емкостей и после 25 лет работы. Согласно данным публикации [8] срок службы РВС до первого капитального ремонта при хранении сероводородсодержащей нефти составляет 5 и 10 лет при хранении нефти без сероводорода. В целом эксплуатационный период РВС до выхода из строя варьируется от 3,9 до 21 года.

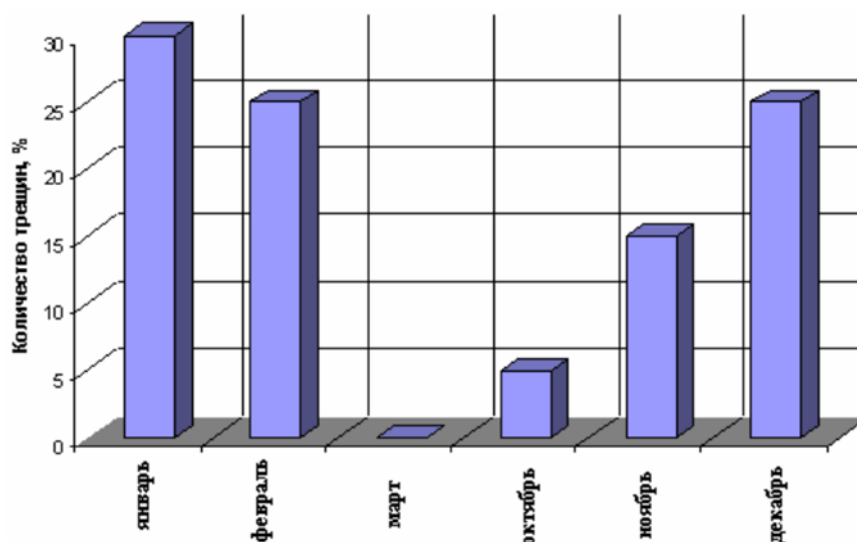


Рисунок 2. – Распределение образования трещин по месяцам [8]

Практическое исследование качества монтажа сварных соединений РВС проводилось авторами данной статьи в Республике Беларусь на нефтесборном пункте «Виша» (далее – НСП «Виша»), расположенном на территории Октябрьского района Гомельской области. На НСП «Виша» поступает газонасыщенная нефть с Вишанского, Борисовского, Восточно-Дроздовского, Мармовичского, Полесского, Оземлинского, Южно-Оземлинского, Ново-Дроздовского месторождений.

НСП «Виша» предназначен для сбора и учета нефтегазовой смеси, одноступенчатой сепарации газа, частичного отделения и подготовки пластовой воды, аварийного сбора нефтепродуктов и дальнейшей транспортировки сырой нефти и газа на установку подготовки нефти, а также хранения соленой воды для закачки в скважины для поддержания пластового давления.

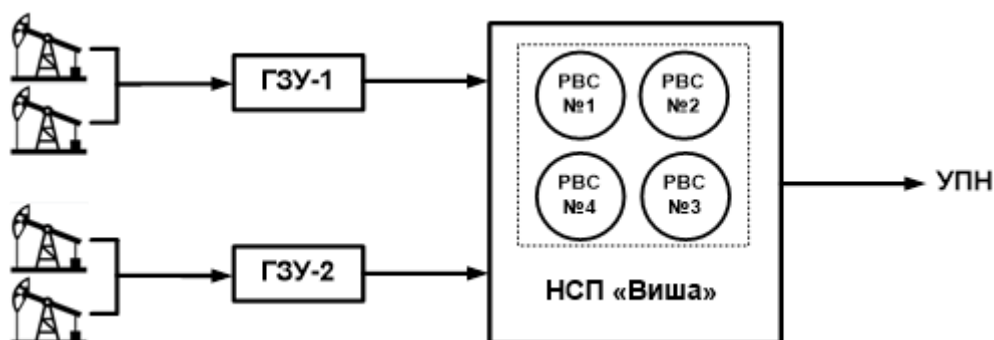
На установке подготовки нефть проходит тщательную очистку от солей, парафина, воды, производится отделение газа, доводится до товарной кондиции и поступает в виде товарной нефти в нефтепровод «Дружба» и на Мозырский нефтеперерабатывающий завод. Попутный газ, который идет с нефтью по трубопроводам, поступает через установку подготовки нефти на Белорусский газоперерабатывающий завод.

Мощность НСП «Виша» составляет 215 тыс. т / год. На данном объекте обращаются следующие вещества: сырая нефть – до 2300 м³ (1960 т), попутный газ – до 800 м³ (1,08 т), реагенты – деэмульсаторы (реагенты ДИН-4, Реанон-И) – до 8 м³, ингибитор коррозии на основе отходов производства капролактама марки КРЦ-3Г – до 10 м³.

Схема транспортировки нефти на территории Октябрьского района представлена на рисунке 3. Нефть после добычи поступает на групповую замерную установку, которая предназначена для замера поступающей нефти из куста скважин. Далее нефть поступает на НСП «Виша», после чего транспортируется на установку подготовки нефти.

Для хранения нефтепродуктов используются два РВС объемом 2000 м³, хранение соленой воды осуществляется также в 2 РВС объемом 2000 м³. Все четыре резервуара находятся в черте одного обвалования.

В 2020 г. в связи с истечением нормативного расчетного срока службы резервуаров (20 лет) началась реконструкция РВС № 2 и РВС № 4. Резервуар № 2 предназначен для хранения пластовой воды, № 4 – для хранения сырой нефти (рис. 4).



ГЗУ – групповая замерная установка; РВС – стальной вертикальный резервуар цилиндрической конструкции; УПН – установка подготовки нефти

Рисунок 3. – Схема транспортировки нефти на территории Октябрьского района Гомельской области

При проведении сварочных работ металлических стен РВС № 4 был выявлен факт деформации металла и ненормированного отклонения стенки резервуара от номинального значения. Согласно техническому отчету № 2810-1/22 Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет» причиной ненормированного отклонения стенки резервуара от номинального значения послужило несоблюдение технологии сборки и сварки монтажного стыка стенки РВС № 4. В соответствии с техническим отчетом вероятность появления дефектов за срок службы от усталости металла с ненормированными отклонениями от геометрии при максимальном напряжении 160 МПа (65 % от предела текучести) составит около 17 %. Вероятность появления усталостных дефектов, ограничивающих назначенный срок службы относительно стенки, не имеющей отклонений от геометрии, составит около 8 %.



Рисунок 4. – Общий вид РВС № 4 на НСП «Виша»

Визуальное изучение сварных швов (рис. 5) металлических стен внутри РВС № 4 на НСП «Виша» выявило дефекты, которые согласно ГОСТ 30242-97¹ классифицированы как «подрез» (5012) и «непровар» (402). Непровар, обозначенный на рисунке 6 цифрой 1, имеет

¹ Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения: ГОСТ 30242-97. – Введ. 01.01.00. – Минск: Госстандарт, 2000. – 20 с.

длину 12,1 мм, ширину 3,9 мм, глубину 2,6 мм. Подрез, обозначенный цифрой 2, имеет размеры 47,4×4,3×2,5 мм. Непровар, обозначенный цифрой 3, имеет размеры 8,2×2,1×1,7 мм. Дефекты зафиксированы на высоте 1,5 м от уровня основания.

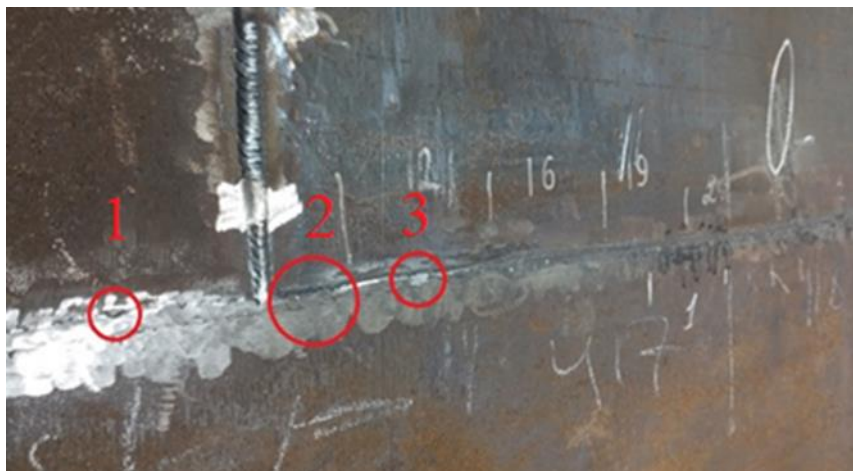


Рисунок 5. – Выявленные дефекты сварных швов РВС № 4

Непровар – это несплавление основного металла по всей длине шва или на участке, возникающее вследствие неспособности расплавленного металла проникнуть в корень соединения. Данный дефект образуется, как правило, при недостаточной силе сварочного тока или высокой скорости сварки, при смещении электрода от оси стыка, некачественной подготовки кромок перед сваркой. *Подрез* – дефект, который характеризуется образованием остроугольной канавки (продолговатого углубления) в зоне сплавления сварного шва и основного металла. Причинами образования подрезов могут быть: высокие сварочный ток и скорость сварки, неправильный угол наклона электрода относительно кромок изделий, что зависит от квалификации сварщика. Исследования показывают [9]², что с уменьшением температуры твердой поверхности смачивание ее жидким металлом ухудшается и улучшается с повышением температуры. Следовательно, одним из способов предотвращения данного дефекта является подогрев свариваемых кромок. Неустраненные дефекты в дальнейшем могут привести к образованию трещин и разрушению резервуара.

Выявленные дефекты стали причиной частичной разборки реконструируемого РВС № 4, что привело к переносу срока ввода его в эксплуатацию, уменьшению рабочей мощности НСП «Виша», эксплуатационной перегрузке РВС № 3, а также к дополнительным финансовым затратам.

Заключение

С учетом требований ТКП 45-5.04-172-2010³ для снижения количества дефектов при монтаже РВС в процессе проведения сварочных работ металлических стен резервуаров необходимо обеспечить [10]:

- контроль всех технологических операций руководителем сварочных работ, заварку дефектных участков сварных соединений;
- систематический контроль в зимнее время температуры металла, рабочие диапазоны скоростей охлаждения сталей, а также минимальные температуры, не требующие подогрева кромок при сварке, которые зависят от углеродного эквивалента, толщины металла, способа сварки и погонной энергии;

² Дефекты сварных соединений [Электронный ресурс] // Сварка и сварщик: welding.com. – Режим доступа: <https://welding.com/defekty-svarnyh-soedineniy#toc-34/>. – Дата доступа: 20.03.2023.

³ Стальные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов: ТКП 45-5.04-172-2010. – Введ. 01.07.10. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 148 с.

- просушку кромок металла от влаги при сварке в зимнее время, независимо от температуры воздуха и марки стали;
- нагрев металла в зимнее время на всю толщину в обе стороны от стыка на ширину не менее 100 мм при осуществлении подогрева кромок металла;
- сварку при стабильном режиме, исключающем подключение к сети сварочного оборудования, вызывающего колебания величины сварочного тока и напряжения более 5 % от номинального;
- запрет сварочных работ по поверхностям или соединениям, покрытым влагой, маслом, скоплениями окалины, шлака или другого рода загрязненными;
- запрет сварочных работ на резервуаре при дожде и снеге, если кромки элементов, подлежащих сварке, не защищены от попадания влаги в зону сварки;
- проведение ручной или механизированной сварки не менее чем в два слоя (каждый слой сварных швов должен проходить визуально-измерительный контроль) сварных соединений на днище и стенке резервуаров;
- своевременное удаление дефектных участков сварных швов механическим методом (шлифовальными машинками или пневмозубилом) или воздушно-дуговой строжкой с последующей зашлифовкой поверхности реза;
- удаление технологических приспособлений, закрепленных сваркой к корпусу резервуара, механическим способом или кислородной резкой с последующей зачисткой мест их приварки заподлицо с основным металлом и контролем качества поверхности в этих зонах, при этом «вырывы» основного металла или подрезы в указанных местах недопустимы;
- очистку от шлака и брызг металла сварных соединений и зоны термического влияния;
- идентификацию сварных соединений клеймением или составлением исполнительных схем с подписями сварщиков, при этом каждый сварщик ставит личное клеймо на расстоянии от 40 до 60 мм от границы выполненного им шва сварного соединения (одним сварщиком – в одном месте, несколькими сварщиками – в начале и в конце шва).

Во избежание аварийных ситуаций в процессе эксплуатации резервуаров объемами от 100 до 50 000 м³, при монтаже которых были выявлены дефекты в сварных соединениях с последующей деформацией стенок резервуара, целесообразно обратить внимание на детальную проработку вопроса о периодичности проведения частичного обследования, а также полного обследования или технического диагностирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спириденко, Л.М. Комплексная безопасность стальных резервуаров нефти и нефтепродуктов / Л.М. Спириденко, А.И. Бордачук // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2012. – № 8. – С. 99–102. – EDN: TZBKGKGN.
2. Давыдов, Е.Ю. Стальные наземные вертикальные резервуары. Основы конструирования и расчета: пособие по дисциплине «Металлические конструкции» для студентов строительных специальностей / Е.Ю. Давыдов. – Минск: БНТУ, 2016. – 90 с.
3. Кондрашова, О.Г. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров [Электронный ресурс] / О.Г. Кондрашова, М.Н. Назарова // Нефтегазовое дело. – 2004. – № 2. – 8 с. – Url: <http://ogbus.ru/article/view/prichinno-sledstvennyj-analiz-avarij-vertikalnyx-stalnyx-rezer>. – EDN: TWVUMF.
4. Вержбицкий, К.Д. Обеспечение ресурса вертикального стального резервуара путем дополнительной обработки сварных соединений нижнего пояса: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / К.Д. Вержбицкий. – СПб., 2018. – 103 л.
5. Байбурин, Р.А. Методы и модели обеспечения пожарной и промышленной безопасности при эксплуатации и ремонте резервуаров вертикальных стальных: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Р.А. Байбурин. – Уфа, 2007. – 180 л.
6. Якшибаев, И.Н. Идентификация опасностей на вертикальных стальных резервуарах / И.Н. Якшибаев, И.Э. Лукьянова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 1. – С. 108–112. – DOI: 10.31660/0445-0108-2015-1-108-112. – EDN: TJWDJR.

7. Биккинин, А.И. Повышение долговечности вертикального стального резервуара совершенствованием конструкции уторного сварного соединения: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / А.И. Биккинин. – Уфа, 2020. – 121 л.
8. Волков, В.Н. Оценка работоспособности резервуаров для хранения нефтепродуктов в условиях Республики Коми [Электронный ресурс] / В.Н. Волков, Н.В. Попова, О.Н. Бурмистрова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4, статья 148. – 8 с. – Url: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13855>. – EDN: STRMUN.
9. Юхин, Н.А. Дефекты сварных швов и соединений / Н.А. Юхин. – М.: СОУЭЛО, 2007. – 58 с.
10. Черепяхин, А.А. Технология сварочных работ: учебник / А.А. Черепяхин, Н.Ф. Шпунькин, В.М. Виноградов. – М.: МПУ, 2019. – 269 с.

**Пути снижения количества дефектов сварных соединений при монтаже
стальных вертикальных резервуаров цилиндрической конструкции
для хранения нефти и нефтепродуктов**

**Ways to reduce the number of defects in welded joints during installation
of steel vertical tanks of cylindrical structure
for storage of oil and petroleum products**

Аушев Игорь Юрьевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
промышленной безопасности, профессор
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: ai@ucp.by
ORCID: 0000-0003-4425-2085

Igor Yu. Aushev

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Industrial Safety, Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: ai@ucp.by
ORCID: 0000-0003-4425-2085

Балута Артем Сергеевич

Учреждение «Гомельское областное
управление МЧС Республики Беларусь»,
Октябрьский районный отдел
по чрезвычайным ситуациям,
заместитель начальника отдела
Адрес: ул. Советская, 90,
247319, г.п. Октябрьский,
Гомельская область, Беларусь
Email: 101okt@gomel.mchs.gov.by

Artem S. Baluta

Institution «Gomel regional administration
of Ministry of Emergency Situations
of the Republic of Belarus»,
Oktyabrsky District Department for Emergency
Situations, Deputy Head of Department
Address: Sovetskaya str., 90,
247319, urban settlement Oktyabrskiy,
Gomel region, Belarus
Email: 101okt@gomel.mchs.gov.by

WAYS TO REDUCE THE NUMBER OF DEFECTS IN WELDED JOINTS DURING INSTALLATION OF STEEL VERTICAL TANKS OF CYLINDRICAL STRUCTURE FOR STORAGE OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS

Aushev I.Yu., Baluta A.S.

Purpose. Development of a set of measures to reduce the number of defects in welded joints during the installation of vertical steel tanks for storing oil and oil products.

Methods. The general methodology of the work included the use of theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison).

Findings. The analysis of the main causes of the destruction of vertical steel tanks for the storage of oil and oil products has been carried out. It is shown that the main defects leading to an accident during the installation and operation of tanks are crack-like defects in welds. A set of measures has been developed to reduce the number of defects in welded joints during installation.

Application field of research. The results of the review and analysis of information about the causes of defects in vertical steel tanks for the storage of oil and oil products can be used during the installation of structural elements.

Keywords: vertical steel tank, welded joint, defects in welded joints, destruction of welded joints.

(The date of submitting: April 10, 2023)

REFERENCES

1. Spiridenok L.M., Bordachuk A.I. Kompleksnaya bezopasnost' stal'nykh rezervuarov nefi i nefteproduktov [The complex safety of steel reservoirs of oil and mineral oil]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*, 2012. No. 8. Pp. 99–102. (rus). EDN: TZBKGK.
2. Davydov E.Yu. *Stal'nye nazemnye vertikal'nye rezervuary. Osnovy konstruirovaniya i rascheta* [Steel ground vertical tanks. Fundamentals of design and calculation]: manual on the discipline «Metal structures» for students of construction specialties. Minsk: BNTU, 2016. 90 p. (rus)
3. Kondrashova O.G., Nazarova M.N. Prichinno-sledstvennyy analiz avariyn vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov [Causal analysis of accidents in vertical steel tanks]. *Neftegazovoe delo*, 2004. No. 2. 8 p. Url: <http://ogbus.ru/article/view/prichinno-sledstvennyj-analiz-avarij-vertikalnyx-stalnyx-rezer>. (rus). EDN: TWVUMF.
4. Verzhbttskiy K.D. *Obespechenie resursa vertikal'nogo stal'nogo rezervuara putem dopolnitel'noy obrabotki svarnykh soedineniy nizhnego poyasa* [Ensuring the resource of a vertical steel tank by additional processing of welded joints of the lower chord]. PhD tech. sci. diss.: 25.00.19. Saint Petersburg, 2018. 103 p. (rus)
5. Bayburin R.A. *Metody i modeli obespecheniya pozharной i promyshlennoy bezopasnosti pri ekspluatatsii i remonte rezervuarov vertikal'nykh stal'nykh* [Methods and models of ensuring fire and industrial safety in the operation and repair of vertical steel tanks]. PhD tech. sci. diss.: 05.26.03. Ufa, 2007. 180 p. (rus).
6. Yakshibaev I.N., Luk'yanova I.E. Identifikatsiya opasnostey na vertikal'nykh stal'nykh rezervuarakh [Identification of hazards on vertical steel tanks]. *Oil and Gas Studies*, 2015. No. 1. Pp. 108–112. (rus). DOI: 10.31660/0445-0108-2015-1-108-112. EDN: TJWDJR.
7. Bikinin A.I. Povyshenie dolgovechnosti vertikal'nogo stal'nogo rezervuara sovershenstvovaniem konstruktssii utornogo svarnogo soedineniya [Increasing the durability of a vertical steel tank by improving the design of a mortise welded joint]. PhD tech. sci. diss.: 25.00.19. Ufa, 2020. 121 p. (rus).
8. Volkov V.N., Popova N.V., Burmistrova O.N. Otsenka rabotosposobnosti rezervuarov dlya khraneniya nefteproduktov v usloviyakh Respubliki Komi [The performance evaluation for storage tanks petroleum products in the Republic Komi]. *Modern problems of science and education*, 2014. No. 4, article 148. 8 p. Url: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13855>. (rus). EDN: STRMUN.
9. Yukhin N.A. *Defekty svarnykh shvov i soedineniy* [Defects in welds and joints]. Moscow: SOUELO, 2007. 58 p.
10. Cherepakhin A.A., Shpun'kin N.F., Vinogradov V.M. *Tekhnologiya svarochnykh rabot* [Welding technology]: textbook. Moscow: MPU, 269 p. (rus)