УДК 620.179.1:621.642.3

Горячев А.С.
студент
Черепанова М.С.
студент
Константинов И.В.,
старший преподаватель кафедры «авиатопливообеспечение»
Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева
Ульяновск

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И РЕМОНТА ДНИЩ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ТОПЛИВОЗАПРАВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. Днища вертикальных стальных резервуаров топливозаправочных комплексов изнашиваются быстрее стенки, а их контроль возможен только после опорожнения и зачистки, что надолго выводит емкость из оборота. Цель — обосновать порядок планирования контроля и ремонта днищ, при котором объем работ определяется фактической картой потерь толщины, а не единой календарной нормой. Использованы сравнительный, нормативно-технический и расчетный методы. Показано, что сплошное сканирование методом рассеяния магнитного потока (MFL) с последующим ультразвуковым уточнением в выделенных зонах сокращает долю листов, вскрываемых без необходимости. Расчет накопленной потери толщины при разных скоростях коррозии подтверждает обоснованность связи интервала между полными обследованиями с измеренной скоростью утонения. Предложенная последовательность операций применима при планировании ремонтов днищ на нефтебазах и в аэропортовых топливозаправочных

комплексах, где под каждый сорт топлива приходится ограниченное число резервуаров.

Ключевые слова: вертикальный стальной резервуар, днище, окрайка, неразрушающий контроль, рассеяние магнитного потока, остаточный ресурс, ремонт резервуара.

Goryachev A.S.
student
Cherepanova M.S.
student
Konstantinov I.V.,
Candidate of Technical Sciences, Lecturer at the Department of Management, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev,
Ulyanovsk

OPTIMIZATION OF THE PROCESSES OF NON-DESTRUCTIVE TESTING AND REPAIR OF THE BOTTOMS OF VERTICAL TANKS OF REFUELING COMPLEXES

Annotation. The bottoms of vertical steel tanks of refueling complexes wear out faster than the walls, and their control is possible only after emptying and stripping, which permanently puts the tank out of circulation. The purpose is to justify the planning procedure for monitoring and repairing bottoms, in which the amount of work is determined by the actual thickness loss map, rather than a single calendar norm. Comparative, regulatory, technical, and computational methods were used. It is shown that continuous magnetic flux scattering (MFL) scanning followed by ultrasonic refinement in selected areas reduces the proportion of sheets that are opened unnecessarily. The calculation of the accumulated thickness loss at different corrosion rates confirms the validity of the relationship between the interval between complete examinations and the measured rate of thinning. The proposed sequence of

operations is applicable when planning bottom repairs at oil depots and airport refueling complexes, where each type of fuel has a limited number of tanks.

Keywords: vertical steel tank, bottom, rim, non-destructive testing, magnetic flux leakage, residual service life, tank repair.

Введение

Днище вертикального стального резервуара проверяется только после вывода емкости из эксплуатации, опорожнения и зачистки, тогда как коррозионное разрушение развивается здесь наиболее интенсивно — под действием подтоварной воды, ее солесодержания и механических примесей [1]. Топливозаправочные комплексы аэропортов (Шереметьево, Пулково, Кольцово) и нефтебазы работают с ограниченным числом резервуаров под каждый сорт топлива, поэтому вывод одной емкости в ремонт прямо сокращает доступный запас авиационного керосина.

Действующая практика связывает вскрытие днища с календарным сроком (не реже одного раза в восемь лет согласно РД 08-95-95 [2]), тогда как объем ремонта определяется распределением потерь толщины по площади, которое до сканирования неизвестно. Стоимость простоя складывается из зачистки, дегазации, сканирования и вскрытия листов, доля которых в общем объеме работ заранее не определена.

Проблема: нормативные документы задают зоны и периодичность контроля, но не связывают карту потерь толщины с объемом ремонта и датой следующего вскрытия. Цель статьи — обосновать порядок планирования контроля и ремонта днищ, при котором объем работ определяется фактической картой потерь толщины, а интервал до следующего обследования — измеренной скоростью утонения.

Нормативные требования к контролю днища и методические подходы

РД 08-95-95 [2] относит к участкам первоочередного контроля сварной шов между стенкой и днищем и предписывает уделять внимание «местам стенки у нижнего уторного шва, соединяющего стенку с днищем» (п. 8.3). К наиболее подверженным коррозии участкам тот же пункт относит нижний пояс стенки, днище, настил и несущие элементы крыши. Перечень зон задан, однако способ обеспечения сплошного охвата центральной части днища документ не устанавливает.

РД 153-112-017-97 [3] прямо допускает применение методов, не рассмотренных в самой инструкции, включая акустико-эмиссионный и магнитный, если они позволяют добиться более совершенного результата при обеспечении полной безопасности (п. 2.1.1). Эта норма делает MFL-сканирование допустимым без изменения нормативной базы, но не определяет ни шага сканирования, ни порога браковки листа.

Руководство по безопасности, утвержденное приказом Ростехнадзора от 23.08.2023 № 305 [4], устанавливает, что «допускается проведение полного технического диагностирования на одном резервуаре-представителе», выбранном из группы однотипных резервуаров, работающих не более 20 лет в одинаковых условиях и принимающих продукт одного класса по ГОСТ 1510-2022. Для топливозаправочных комплексов, где рядом стоят резервуары под авиационный керосин ТС-1 и под дизельное топливо, группировка по этому признаку сужается до нескольких емкостей.

Важно: РД 08-95-95 и РД 153-112-017-97 формально действуют, но не содержат обязательных требований и применяются в части, не противоречащей более поздним актам. Актуальным ориентиром служит Руководство № 305 [4] и ФНП № 529 [5]. Это создает правовой пробел: методика контроля днища не закреплена в обязательном документе.

Условие однотипности касается конструкции, материалов, технологии сооружения и условий эксплуатации. Для днища к этим признакам добавляется

то, что нормой не названо: количество подтоварной воды, режим ее откачки, состояние подушки основания и наличие внутреннего покрытия. Резервуар-представитель, выбранный без учета перечисленного, дает заключение, переносимое на группу с завышенной уверенностью.

Причины утонения днищ и расчет накопленной потери толщины

Коррозия названа одной из основных причин отказов и аварий объектов хранения нефти и нефтепродуктов [6]. Для днища источник процесса локализован в подтоварной воде, и комплексное влияние температуры, солесодержания, ингибиторов и механических примесей изучено на примере РВС-5000 парка входных резервуаров цеха по подготовке и перекачке нефти нефтешахтного управления «Яреганефть» [1]. Обследование резервуарных парков подтвердило связь сверхнормативного срока службы с прогрессирующими коррозионными дефектами [7]. Различие условий внутри одного парка означает, что накопленная потеря толщины листов днища расходится даже у резервуаров одного проекта.

Расчетные значения накопленной потери толщины при трех уровнях скорости коррозии приведены в таблице 2.

Таблица 2. Накопленная потеря толщины листа днища, мм

Скорость равномерной коррозии, мм/год	Через 4 года	Через 8 лет	Через 12 лет
0,05	0,20	0,40	0,60
0,10	0,40	0,80	1,20
0,20	0,80	1,60	2,40

Источник: расчет автора при заданных значениях скорости равномерной коррозии.

При скорости 0,20 мм/год за восемь лет лист номинальной толщиной 6 мм теряет около 27% сечения, а при 0,05 мм/год — около 7%. Четырехкратное различие скорости утонения переносится на объем заменяемых листов.

Оценка состояния усложняется правилом измерения: за действительную толщину элемента (пояса, окрайка, кровли или центральной части днища) «принимается минимальная толщина отдельного листа» (п. 5.3.6 РД 08-95-95) [2]. Один лист с локальной язвой определяет характеристику всей центральной части днища, и выборочная толщинометрия в отдельных точках такой лист может не обнаружить. Сплошное сканирование снимает эту неопределенность: современные сканеры позволяют строить карту коррозии с шагом до 12 мм и обнаруживать потерю стенки от 10 % [8]. Для окрайки, где предписан контроль уторного шва, карта дополняется визуально-измерительным и ультразвуковым контролем.

На резервуарах светлых нефтепродуктов автоматизированный контроль днища строится на сочетании двух методов: ультразвуковой контроль применяется для характеристики и измерения дефектов основного металла, метод поиска утечек магнитного потока — для выявления дефектов, а сама система ориентирована на резервуары хранения бензина, керосина, дизельного и реактивного топлива по стандарту API 653 [9]. Такое сочетание разделяет функции: сканирование выявляет зоны потерь, ультразвуковой контроль измеряет остаточную толщину в найденных зонах.

Порядок планирования контроля и ремонта днищ по фактической карте потерь толщины

Действующая практика связывает вскрытие днища с календарным сроком, тогда как объем ремонта определяется распределением потерь толщины по площади, которое до сканирования неизвестно.

Сканирование выполняется после зачистки и дегазации, причем «порядок и сроки зачистки резервуаров для нефти и мазутов определяются эксплуатирующей организацией» (п. 249) [7]. Ремонтная часть работ сводится к замене или подварке листов и к восстановлению антикоррозионного покрытия, для которого исследуется воздушно-плазменное напыление как способ

антикоррозионной защиты [5]. Ограничение подхода задано условиями доступа: при обследовании днища резервуар выводится из эксплуатации, закрываются технологические задвижки на приемно-раздаточных патрубках, при необходимости выполняется механическая обработка внутренней поверхности [6]. Такая емкость простаивает весь срок работ. Состояние подушки основания оценивается по электрофизическим признакам: аномалии с пониженной проводимостью относят к «скоплению нефти и нефтепродуктов в грунте подушки резервуара» (п. 2.11.2) [11].

Сплошная карта коррозии центральной части не заменяет контроля уторного шва и окраечных листов, для которых предписаны визуально-измерительный контроль и дефектоскопия сварных соединений [10]. Оптимизация касается распределения объема работ между зонами днища.

Предлагаемый порядок работ включает три последовательных шага:

- сплошное сканирование центральной части с построением карты потерь толщины и выделением зон с потерей более 10 %;

- ультразвуковое измерение остаточной толщины в выделенных зонах и на окрайке, с отнесением к элементу минимального из полученных значений;

- расчет скорости утонения по разнице с данными предыдущего обследования и назначение объема замены листов.

Механизм действия состоит в том, что решение о замене листа принимается по измеренной толщине, а срок следующего вскрытия – по вычисленной скорости утонения. Ведомость дефектов, привязанная к координатам сканирования, позволяет заготовить листовой металл и подготовить сварочные работы до вывода следующего резервуара группы. При нехватке парных измерений третий шаг остается направлением, которое требует проверки на парке из нескольких однотипных емкостей.

Сокращение простоя достигается тем, что объем ремонтных операций становится известен в первые дни после зачистки, до начала поэтапного вскрытия листов.

Если по результатам двух последовательных обследований скорость утонения листов днища не превышает 0,05 мм/год, восьмилетний интервал полного диагностирования обоснован, а группировка по резервуару-представителю применима [8]. Если скорость приближается к 0,20 мм/год, то при номинальной толщине листа 6 мм к концу интервала утрачивается около четверти сечения, и вскрытие требуется раньше нормативного срока. Условие прогноза – сохранение режима откачки подтоварной воды и класса хранимого продукта; при переводе резервуара на другой сорт топлива расчет повторяется.

Заключение

Требования РД 08-95-95, РД 153-112-017-97 и Руководства по безопасности 2023 года задают зоны и периодичность контроля днища и допускают магнитные методы, однако не связывают карту потерь толщины с объемом ремонта и с датой следующего вскрытия. Именно в этом промежутке возникает избыточный простой резервуара топливозаправочного комплекса.

Расчет накопленной потери толщины показал, что при одном и том же нормативном интервале резервуары с разной скоростью утонения приходят к обследованию в существенно разном состоянии. Предложенный порядок – сплошное сканирование, ультразвуковое уточнение в выделенных зонах, расчет скорости утонения – переводит решение о замене листов и о сроке следующего вскрытия на измеренные величины. Правило отнесения к элементу минимальной толщины листа делает сплошность сканирования условием корректности заключения. Практическая значимость состоит в возможности планировать закупку листового металла и сварочные работы до вывода следующего резервуара группы в ремонт. Порядок применим на нефтебазах и в

аэропортовых топливозаправочных комплексах, где под каждый сорт топлива приходится ограниченное число емкостей.

Выводы ограничены резервуарами со стальным днищем, хранящими светлые нефтепродукты. Дальнейшие исследования требуют накопления парных измерений толщины по одним и тем же координатам днища, что позволит перейти от расчетных уровней скорости коррозии к распределениям, установленным по конкретным паркам. Влияние внутреннего антикоррозионного покрытия на достоверность магнитного сканирования также требует проверки.

Список литературы

1. Анализ процесса коррозионного разрушения резервуаров-отстойников подготовки высоковязкой нефти к транспорту по магистральным нефтепроводам [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-protsessa-korrozionnogo-razrusheniya-rezervuarov-otstoynikov-podgotovki-vysokovyazkovy-neftik-transportu-po-magistralnym (дата обращения: 1.10.2026).
2. РД 08-95-95. Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс] : утв. постановлением Госгортехнадзора России от 25.07.1995 № 38. — URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4294853/4294853678.htm (дата обращения: 1.10.2026).
3. РД 153-112-017-97. Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров [Электронный ресурс]. — URL: https://zavod-volna.com/company/normativnye-dokumenty/rd-153-112-017-97-instruktsiya-po-diagnostike-i-otsenke-ostatchnogo-resursa-vertikalnykh-stalnykh-r/ (дата обращения: 01.10.2026).

4. Приказ Ростехнадзора от 23.08.2023 № 305 «Об утверждении Руководства по безопасности “Рекомендации по техническому диагностированию сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов”» [Электронный ресурс]. — URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407667022/ (дата обращения: 01.10.2026).
5. Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 529 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности “Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов”» (ред. от 18.03.2025) [Электронный ресурс]. — URL: https://base.garant.ru/400164990/ (дата обращения: 01.10.2026).
6. Повышение надёжности стальных резервуаров: применение воздушно-плазменного напыления при нанесении антикоррозионного покрытия [Электронный ресурс] // Neftegaz.RU. — URL: https://magazine.neftegaz.ru/articles/khranenie/504901-povyshenie-nadezhnosti-stalnykh-rezervuarov-primenenie-vozdushno-plazmennogo-napyleniya-pri-naneseni/ (дата обращения: 01.10.2026).
7. Техническое состояние резервуарных парков Беларуси [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnicheskoe-sostoyanie-rezervuarnyh-parkov-belarusi (дата обращения: 01.10.2026).
8. Проверка самого необходимого: контроль днища резервуара для хранения и критической зоны [Электронный ресурс] // NDT Solutions. — 2025. — URL: https://ndt-solutions.ru/articles/Application/proverka-samogo-neobkhodimogo-kontrol-dnishcha-rezervuara-dlya-khraneniya-i-kriticheskoy-zony/ (дата обращения: 01.10.2026).

9. Диагностика днищ топливных резервуаров [Электронный ресурс] // АО «Диаконт». — URL: https://www.diakont.ru/projects/diagnostics-of-fuel-tank-bottoms/ (дата обращения: 01.10.2026).