

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра проектирования и эксплуатации газонефтепроводов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____/А.Н. Сокольников

«23» июня 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Оценка ремонтпригодности резервуара типа РВСП-3000 для хранения
нефтепродуктов перевалочной нефтебазы в районе г. Владивосток

Руководитель

канд. техн. наук, доцент В.И. Верещагин

Выпускник

И.С. Кузнецов

Красноярск 2020

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме: «Оценка ремонтпригодности резервуара типа РВСП-3000 для хранения нефтепродуктов перевалочной нефтебазы в районе г. Владивосток».

Консультанты по
разделам:

Экономическая часть

И.В. Шадрина

Безопасность жизнедеятельности

А.Н. Минкин

Нормоконтролер

О.Н. Петров

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Оценка ремонтнопригодности резервуара типа РВСП-3000 для хранения нефтепродуктов перевалочной нефтебазы в районе г. Владивосток» содержит 79 страниц текстового документа, 23 использованных источника, 6 листов графического материала.

РЕЗЕРВУАР ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТАЛЬНОЙ С ПОНТОНОМ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ, ДЕФЕКТ, РЕМОНТ.

Объект ВКР: Резервуар вертикальный стальной с понтоном объемом 3000 м³ для хранения нефтепродуктов перевалочной нефтебазы, расположенной в районе г. Владивосток.

Цель ВКР: по результатам технического диагностирования выявить дефекты, снижающие эксплуатационную надежность резервуара.

Для решения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить классификацию резервуаров и их устройство;
- произвести оценку ремонтнопригодности рассматриваемого резервуара по результатам технического диагностирования;
- произвести расчеты на прочность и устойчивость стенки резервуара, расчет резервуара на опрокидывание и определение контурного давления на фундамент;
- предложить ремонтно-восстановительные работы рассматриваемого резервуара.

В выпускной квалификационной работе проводится оценка ремонтнопригодности резервуара по результатам технического диагностирования, на основании данного диагностирования предлагаются ремонтно-восстановительные работы, а также производятся расчеты на прочность и устойчивость стенки резервуара, а также расчет нагрузок на основание данного объекта.

В технологической части выпускной квалификационной работы представлено описание ремонта поврежденных строительных конструкций на основе результатов диагностики, выполнены расчеты на прочность и устойчивость стенки, выполнен расчет резервуара на опрокидывание и определение контурного давления на фундамент, и даны рекомендации на увеличение срока безопасной эксплуатации резервуара.

В разделе «Безопасность и экологичность проекта» решены вопросы по обеспечению безопасности жизнедеятельности, пожарной и взрывопожарной безопасности, предусмотрены мероприятия по охране труда, а также приведены правила по ликвидации отходов и устранению загрязняющих веществ.

В экономической части работы выполнен расчет затрат на ремонт данного резервуара по итогам диагностирования и произведено сравнение этих затрат со стоимостью сооружения нового резервуара.

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат	3
Введение.....	8
Основная часть	9
1 Характеристика резервуара.....	9
2 Методы неразрушающего контроля при проведении полного технического диагностирования резервуара РВСП-3000	10
2.1 Визуальный осмотр конструкций резервуара РВСП-3000	10
2.2 Визуально-измерительный метод контроля резервуара РВСП-3000 с применением оптического метода.....	12
2.2.1 Измерения общих и местных деформаций конструкций резервуара РВСП-3000	12
2.2.2 Измерения геометрической формы стенки и нивелирование днища	13
2.2.3 Контроль осадки днища резервуара РВСП-3000	15
2.3 Ультразвуковой метод контроля основного металла и сварных соединений конструкций резервуара РВСП-3000	16
2.3.1 Измерение толщин конструктивных элементов резервуара РВСП-3000... ..	16
2.3.2 Контроль качества сварных соединений	17
2.4 Вакуумный метод контроля резервуара РВСП-3000 на непроницаемость сварных соединений днища и крыши	17
3 Расчетная часть.....	18
3.1 Определение снеговой и ветровой нагрузки на резервуар	18
3.2 Расчет стенки резервуара на прочность.....	20
3.3 Расчет стенки резервуара на устойчивость	31
3.4 Расчет резервуара на опрокидывание и определение контурного давления на фундамент	35
4 Технологическая часть	42
4.1 Способы устранения дефектов металлоконструкций резервуара.....	42
4.1.1 Устранение дефектов днища при его полном поверхностном повреждении	43
4.1.2 Устранение хлопунгов днища	44
4.1.3 Устранение сквозных отверстий днища	45
4.1.4 Устранение поверхностных трещин в сварных соединениях	46

4.1.5 Дефекты, устраняемые методом электродуговой наплавки.....	46
4.2 Мероприятия по защите металлоконструкций от разрушений.....	48
4.2.1 Подготовка наружной поверхности резервуара к антикоррозионному покрытию	48
4.2.2 Технология нанесения антикоррозионного покрытия на наружную поверхность резервуара	49
4.2.3 Электрохимическая защита днища резервуара от почвенной коррозии....	49
4.2.4 Подготовка внутренней поверхности резервуара к нанесению антикоррозионного покрытия.....	51
4.2.5 Технология нанесения антикоррозионного покрытия на внутреннюю поверхность резервуара	51
4.3 Методы антикоррозионной защиты металлических конструкций	52
5 Безопасность и экологичность проекта	53
5.1 Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов при проведении работ	54
5.2 Инженерные и организационные решения по обеспечению безопасности работ	55
5.3 Санитарные требования к помещению и размещению используемого оборудования	56
5.4 Обеспечение безопасности технологического процесса	58
5.5 Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности	58
5.6 Обеспечение безопасности в аварийных и чрезвычайных ситуациях	60
5.7 Экологичность проекта.....	61
6 Экономическая часть	61
6.1 Необходимость в числе работников и строительной техники	62
6.2 Заработная плата рабочих и страховые взносы	64
6.3 Аренда и покупка строительной техники.....	67
6.4 Затраты на покупку строительных материалов и возведение нового днища	68
6.5 Подсчет общих затрат на проведение ремонта резервуара РВСП-3000	74
Заключение	75
Список сокращений	76
Список использованных источников	77

ВВЕДЕНИЕ

Резервуары – это сложные инженерные конструкции, предназначенные для приемки, учета, хранения и отпуска нефти и нефтепродуктов. Металлические резервуары являются одними из самых ответственных конструкций, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях. Коррозия, внутренние напряжения, а также нарушение правил технической эксплуатации ведут к образованию дефектов, приводящих эти сооружения к их разрушению.

Для своевременного выявления дефектов необходимо периодическое обследование и дефектоскопия металлических резервуаров. Диагностика резервуаров представляет собой комплекс мероприятий по оценке технического состояния исследуемого объекта, обнаружению и определению места локальных неисправностей, прогнозированию остаточного ресурса данного объекта, мониторинг технического состояния объекта, а также мероприятия по выдаче рекомендаций по дальнейшему его использованию.

Периодичность проведения полного технического диагностирования резервуаров составляет:

1) для резервуаров РВС, РВСП, РВСПК, удовлетворяющих требованиям к длительной безопасной эксплуатации при сроке эксплуатации до 20 лет включительно, не реже, чем один раз после пуска в эксплуатацию или через 10 лет после частичного технического диагностирования;

2) для резервуаров РВС, РВСП, РВСПК, удовлетворяющих требованиям к длительной безопасной эксплуатации при сроке эксплуатации более 20 лет, полное техническое диагностирование проводится один раз в 10 лет после последнего ремонта или через 5 лет после частичного технического диагностирования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Характеристика резервуара

Рассмотрим основные конструкции, из которых состоит исследуемый резервуар, а именно: стенку, крышу, днище, понтон, лестницу, а также основание под резервуар.

Стенка резервуара представляет собой стальной цилиндрический корпус радиусом 7,59 м, высотой 16,39 м, изготовленный методом рулонирования, состоящий из 11 горизонтальных поясов, каждый из которых имеет по 8 листов размерами 1500*6000 мм (с учетом строжки 1490*5980 мм). Длина развертки рулона составляет 47,84 м.

На данном резервуаре установлена стальная каркасная коническая крыша, состоящая из центрального щита, секторных элементов каркаса, кольцевых элементов каркаса и полотнищ настила, сваренных между собой стыковыми швами.

Днище рассматриваемого резервуара является коническим, состоит из кольцевых окроек и центральной части, имеющей уклон от центра к периферии 1:100. Центральная часть представляет собой рулонизируемые полотнища, выполненные и соединенные между собой стыковыми швами. Центральная часть соединена с кольцевыми окрайками нахлесточным швом. Днище и стенка соединены тавровым швом.

Для обеспечения минимальных потерь полезного объема резервуара установлен алюминиевый поплавковый понтон с герметичным настилом. Понтон имеет опоры, которые позволяют его фиксировать в следующих положениях: рабочем, для регулирования поднятия и опускания понтона соответственно при наполнении и опорожнении резервуара, и ремонтном, для обеспечения возможности свободного прохода рабочего персонала по днищу резервуара. В местах зазора между стенкой резервуара и телом понтона предусмотрены уплотняющие затворы, позволяющие достичь максимально

возможного снижения потерь нефтепродукта (в нашем случае бензина) от испарения во время перемещения понтона. На самом понтоне установлен люк-лаз, предназначенный для вентиляции и обслуживания подпонтонного пространства в процессе ремонтных работ.

Рассматриваемый объект оборудован шахтной лестницей, позволяющей осуществлять подъем рабочего персонала непосредственно на крышу нашего резервуара.

Основание под исследуемый резервуар – песчаная подушка с гидроизолирующим слоем. Для приготовления этого слоя использовался супесчаный грунт и жидкий битум (вяжущее вещество) в содержании 10 % от объема грунта.

В качестве материала основных металлоконструкций использовалась конструкционная низколегированная сталь марки 09Г2С.

2 Методы неразрушающего контроля при проведении полного технического диагностирования резервуара РВСП-3000

2.1 Визуальный осмотр конструкций резервуара РВСП-3000

Визуально-измерительный контроль был выполнен согласно РД [1]. Для ВИК использовались следующие приборы: Люксметр «ТКА-ЛЮКС», который предназначен для определения уровня освещенности контролируемой поверхности, рулетка Р-50 и комплект ВИК. Данный контроль был направлен на исследование технического состояния всех конструктивных элементов резервуара, в состав которых входят: основной металл и сварные швы стенки, днища, крыши и вспомогательных устройств резервуара, а также понтон.

При контроле основного металла стенки обнаружались следующие дефекты: равномерная коррозия на внутренней поверхности стенки, а именно, на листе №2 1-го пояса глубиной 1,8 мм площадью 0,0084 м²; на листе №5 1-го пояса глубиной 2,3 мм площадью 0,0095 м²; на листе №7 1-го пояса глубиной

2,1 мм площадью 0,0056 м²; на листе №4 2-го пояса глубиной 1,6 мм площадью 0,0072 м²; на листе №6 2-го пояса глубиной 1,8 мм площадью 0,0043 м²; на листе №3 3-го пояса глубиной 1,7 мм площадью 0,0068 м²; на листе №8 3-го пояса глубиной 1,3 мм площадью 0,0054 м²; на листе №2 4-го пояса глубиной 0,5 мм площадью 0,0047 м²; на листе №5 4-го пояса глубиной 0,6 мм площадью 0,0039 м²; на листе №7 4-го пояса глубиной 0,4 мм площадью 0,0052 м²; на внешней поверхности стенки на листе №4 1-го пояса обнаружена царапина длиной 217 мм и глубиной 1,4 мм.

При контроле сварных швов на внешней поверхности стенки обнаружались следующие дефекты: продольная трещина длиной 185 мм и глубиной до 2,3 мм на горизонтальном шве между 1-ым и 2-ым поясом, а именно, над листами №3 и №4 1-ого пояса; на вертикальном шве между листами №1 и №8 1-ого пояса наблюдается наплыв длиной 467 мм и толщиной до 2,1 мм; на вертикальном шве между листами №6 и №7 1-ого пояса выявлена поверхностная пора глубиной до 2,4 мм.

При контроле как основного металла, так и сварных швов днища были выявлены дефекты, такие как: неравномерная коррозия глубиной до 1,7 мм по всей площади днища, включая площадь кольцевых окрестностей до участков внутренней поверхности стенки; сквозное отверстие на листе №3 8-ого ряда центральной части днища.

При контроле основного металла крыши был обнаружен следующий дефект: царапина длиной 92 мм и глубиной 0,7 мм на наружной поверхности настила. На внутренней поверхности настила, на составных элементах каркаса, а также в сварных соединениях крыши дефектов обнаружено не было.

В сварном шве патрубка дыхательного клапана и настила крыши была обнаружена неравномерная ширина шва. В люке-лазе №1 на внутренней поверхности сварных швов фланца и патрубка было выявлено наличие свищей.

При контроле алюминиевого понтона дефектов обнаружено не было.

2.2 Визуально-измерительный метод контроля резервуара РВСП-3000 с применением оптического метода

2.2.1 Измерения общих и местных деформаций конструкций резервуара РВСП-3000

К деформациям конструкций резервуаров относят, как правило, выпучины и вмятины. Допускаемые значения выпучин и вмятин на поверхности стенки вдоль образующей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимые значения выпучин и вмятин, мм [2]

Расстояние от нижнего до верхнего края выпучины или вмятины, мм	Допустимое значение выпучин или вмятин, мм
до 1500 включительно	15
свыше 1500 до 3000 включительно	30
свыше 3000 до 4500 включительно	45

По данным технического диагностирования отклонения образующих резервуара не превышает допустимых величин.

Для резервуаров, находящихся в эксплуатации более 15 лет, допустимые местные деформации стенки от прямой, соединяющей верхний и нижний края деформированного участка вдоль образующей, допускаются на 30% больше, чем для новых.

Для нового резервуара высота хлопунгов днища не должна превышать 150 мм на площадь 2 м². Для резервуаров, находящихся в эксплуатации более 15 лет, высота хлопунгов днища не должна превышать 200 мм на площадь 3 м². При большей высоте хлопунгов дефектное место подлежит исправлению. [2]

По результатам обследования днища резервуара было обнаружено 2 хлопунга, площадями превышающих допустимые размеры.

2.2.2 Измерения геометрической формы стенки и нивелирование днища

Согласно РД [3], при выявлении действительной геометрической формы резервуара и определении отклонений от проектных требований необходимо измерить величину отклонений образующих стенки на уровне верха каждого пояса от вертикали, приведенной из нижней точки первого пояса; число вертикалей, вдоль которых измеряются отклонения, принято брать равным числу стыков нижнего пояса, не менее, чем через каждые 6 м по всему периметру резервуара. Измерения отклонений от вертикали и нивелировку кольцевых краев днища проводились с помощью следующих приборов: нивелира 3Н-10КЛП и теодолит 4Т30П. Также на основании данного РД допустимые отклонения образующих для резервуаров высотой свыше 12 м до 18 м включительно должны быть меньше указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Предельные отклонения образующих стенки от вертикали [4]

№ пояса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Допустимое отклонение, мм	15	30	40	50	60	60	70	70	70	80	80	80

Данные замеров отклонений образующих резервуара РВСП-3000 представлены в таблице 3

Таблица 3 – Отклонения образующих резервуара РВСП-3000

№ образующей	№ пояса										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Величина отклонения образующей от вертикали, мм											
1	-1	5	12	26	35	41	52	59	63	67	72
2	4	8	14	19	26	33	38	42	47	50	56
3	1	4	7	10	12	15	17	22	26	31	35

Продолжение таблицы 3 – Отклонения образующих резервуара РВСП-3000

№ образующей	№ пояса										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Величина отклонения образующей от вертикали, мм										
4	0	-2	3	8	10	6	11	14	17	19	22
5	-1	3	-2	0	1	-4	-7	-8	-10	-11	-14
6	-3	0	-8	-11	-13	-17	-21	-24	-26	-29	-35
7	-7	-2	-4	-7	-11	-15	-21	-23	-28	-33	-38
8	-9	-13	-7	-15	-20	-26	-32	-36	-41	-44	-47

Примечание: Величины отклонений со знаком «+» указывают на отклонение в наружную сторону, а со знаком «-» – во внутреннюю.

Получив результаты замера отклонений образующих от вертикали стенки, и сравнивая их с пределами допустимых значений, видно, что величины полученных отклонений находятся в этих пределах.

Что касается процесса нивелирования днища, то на внешнем его контуре не менее чем через каждые 6 м отмечают точки, которые соответствуют вертикальным стыкам 1-го пояса стенки, начиная от приемо-раздаточного патрубка и проходя по часовой стрелке, однако это возможно при отсутствии изоляции. При наличии изоляции к внешнему контуру днища должны быть приварены специальные осадочные марки, которые выступают наружу через соответствующий изоляционный слой.

От исходного репера (метки с известной абсолютной высотой, находящейся на земной поверхности) происходит нивелирование намеченных точек или осадочных марок по днищу резервуара. После процесса нивелирования определяют отметки этих точек. Результаты данного процесса наносят на схему и далее выполняется анализ. При данном анализе руководствуются предельно допустимыми отклонениями внешнего контура днища. Поскольку строение днища исследуемого резервуара таково, что оно имеет подъем к центру, то данное предельно допустимое отклонение составляет 50 мм [5].

Результаты нивелирования кольцевых окраек днища представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты нивелирования кольцевых окраек днища

№ образующей	1	2	3	4	5	6	7	8
Величина отклонения от горизонтали, мм	45	52	59	54	56	53	47	43

Из таблицы видно, что отклонения от горизонтали кольцевых окраек днища превышают предельно допустимое значение.

2.2.3 Контроль осадки днища резервуара РВСП-3000

Величина неравномерной осадки внешнего контура кольцевых окраек днища определяется в тех же местах, в которых проводились измерения отклонений образующих от вертикали стенки (через каждые 6 м).

Допускаемые отклонения отметок внешнего контура днища для резервуаров, эксплуатирующихся более 4 лет, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Допускаемые отклонения отметок внешнего контура днища для резервуаров, эксплуатирующихся более 4 лет [6]

Емкость резервуара, м ³	Разность отметок внешнего контура днища, мм	
	Для смежных точек на расстоянии 6 м при незаполненном резервуаре	Для смежных точек на расстоянии 6 м при заполненном резервуаре
2000 – 10000	40	80

По результатам контроля осадки днища недопустимых дефектов обнаружено не было.

2.3 Ультразвуковой метод контроля основного металла и сварных соединений конструкций резервуара РВСП-3000

2.3.1 Измерение толщин конструктивных элементов резервуара РВСП-3000

Измерения толщин конструктивных элементов резервуара проводились ультразвуковым дефектоскопом ЕРОСН III – модель 2300 согласно требованиям ГОСТ 14782-86 [7]. Результаты измерений представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Показания измерений толщины листов стенки

Толщина листов	Номер поясов стенки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Проектная	9	8	7	7	6	6	6	6	6	6	6
Фактическая	8,6	7,7	6,8	6,8	5,9	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5	5,5
Допускаемая	8,2	7,5	6,6	6,6	5,7	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4

Таблица 7 – Показания измерений толщины листов днища и крыши

Толщина листов	Днище		Крыша
	Кольцевые окрайки	Центральная часть	
Проектная	9	7	3,5
Фактическая	7,5	6,6	3,3
Допускаемая	8,6	6,4	2,9

Примечание: Измерения толщины листов стенки резервуара проводились следующим образом: на 1-ом и 2-ом поясах замер каждого листа проводился в пяти точках произвольно, на остальных поясах – вдоль лестниц в трех точках по вертикали. За фактическую толщину листа принята среднеарифметическая величина всех измерений на одном листе. За допускаемую толщину листа принята толщина наиболее тонкого листа.

Из таблицы 7 видно, что фактическая толщина кольцевых окраек днища меньше допускаемой.

2.3.2 Контроль качества сварных соединений

Контроль качества сварных соединений проводился, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55724 – 2013 [8], ультразвуковым дефектоскопом УСД-50, толщиномером А1210 и рентгеновским аппаратом Арина-3. Допустимые размеры дефектов регламентировались ГОСТ 31385 – 2016 [9].

Контроль проводился на всех пересечениях горизонтальных и вертикальных швах стенки.

По результатам данного метода неразрушающего контроля было обнаружено 14 внутренних недопустимых дефектов, таких как шлаковые включения и газовые поры, как в заводских сварных швах, так и в монтажных сварных соединениях стенки.

2.4 Вакуумный метод контроля резервуара РВСП-3000 на непроницаемость сварных соединений днища и крыши

Контроль на непроницаемость сварных соединений проводился вакуум-методом при очистке околошовной зоны от пыли и масла. Во время проведения испытания разряжение в вакуум-камере составило 0,663 МПа для сварных соединений толщиной, равной 4 мм, и 0,77 МПа для сварных соединений большей толщины.

По результатам данного метода неразрушающего контроля было выявлено одно сквозное отверстие на днище резервуара.

Проводился данный метод контроля в соответствии с ПБ 03-603 – 03 [10] вакуум-камерой с вакуумным насосом ВНК-2 при давлении вакуума, находящегося в пределах 0,6...0,8 МПа.

3 Расчетная часть

3.1 Определение снеговой и ветровой нагрузки на резервуар

Расчетное значение снеговой нагрузки определяем по формуле

$$S = S_q \cdot \mu, \quad (1)$$

где S_q – расчетное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли, выбирается из СНиП 2.01.07 – 85 [11]; г. Владивосток расположен во 2 районе по весу снегового покрова, следовательно $S_q = 1,2$ кПа;

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытии, принимаемый в соответствии с пп. 5.3...5.6 и схеме 2 приложения 3 СНиП 2.01.07 – 85 [11], $\mu = 0,85$.

$$S = 1,2 \cdot 10^3 \cdot 0,85 = 1020 \text{ Па.}$$

Расчетную ветровую нагрузку следует определять как сумму средней и пульсационной составляющих по формуле

$$W = W_m + W_p, \quad (2)$$

где W_m – нормативное среднее составляющее ветровой нагрузки;

W_p – нормативная пульсационная составляющая ветровой нагрузки.

Нормативное среднее составляющее ветровой нагрузки определяется по формуле

$$W_m = W_0 \cdot K \cdot C, \quad (3)$$

где W_0 – нормативное значение ветрового давления в зависимости от ветрового района, $W_0 = 0,48$ кПа;

K – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, в зависимости от типа местности, $K = 0,75$;

C – аэродинамический коэффициент, $C = 1,3$.

$$W_m = 0,48 \cdot 1000 \cdot 0,75 \cdot 1,3 = 224,25 \text{ Па.}$$

Нормативная пульсационная составляющая ветровой нагрузки определяется по формуле

$$W_p = W_m \cdot \xi \cdot \nu, \quad (4)$$

где W_m – то же, что и в формуле (2);

ξ – коэффициент пульсации давления ветра, $\xi = 0,99$;

ν – коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра, $\nu = 0,77$.

$$W_p = 224,25 \cdot 0,99 \cdot 0,77 = 170,94 \text{ Па.}$$

Определим расчетную ветровую нагрузку

$$W = 224,25 + 170,94 = 395,19 \text{ Па.}$$

3.2 Расчет стенки резервуара на прочность

Проверочный расчет на прочность для каждого пояса стенки резервуара определяется по следующей формуле

$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n}, \quad (5)$$

где σ_1 – меридиональное напряжение, МПа;

σ_2 – кольцевое напряжение, МПа;

R_y – расчетное сопротивление материала конструкции, МПа;

γ_n – коэффициент, учитывающий класс опасности резервуара, для третьего класса опасности $\gamma_n = 1,05$;

γ_c – коэффициент условия работы для листовых конструкций (таблица 8).

Таблица 8 – Значения коэффициента условий работы для листовых конструкций

Элементы конструкции	Значения γ_c
Стенка при расчете на прочность	
Нижний пояс:	0,7
Остальные пояса:	0,8
Стенка при расчете элементов на устойчивость	1,0
Сопряжение стенки резервуара с днищем	1,2

Меридиональное напряжение с учетом коэффициентов надежности по нагрузке и коэффициентов для основного сочетания нагрузок вычисляется для нижней точки пояса по формуле

$$\sigma_1 = \frac{[1,05 \cdot G_M + 0,95 \cdot (1,05 \cdot G_O + 1,2 \cdot G_Y)]}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_i} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot S - 0,95 \cdot 1,2 \cdot P_{изб}) \cdot r}{2 \cdot t_i}, \quad (6)$$

- где G_M – вес металлоконструкции выше расчетной точки, Н;
 G_O – вес стационарного оборудования выше расчетной точки, Н;
 G_Y – вес утеплителя выше расчетной точки, Н;
 S – расчетное значение снеговой нагрузки, Н;
 r – уточненный радиус резервуара, м;
 t_i – толщина пояса стенки, м;
 $P_{изб}$ – избыточное давление в резервуаре (таблица 10).

Таблица 10 – Значения рабочего и избыточного давления резервуаров для нефтепродуктов при расчете на прочность и устойчивость

Тип резервуара	Рабочее давление, кПа (мм. Вод. ст.)	
	Избыточное	Вакуум
РВС	2,0 (200)	0,25
РВСП	0,2 (20)	0,2 (20)
РВСПК	0	0

Вес утеплителя принимаем равным нулю ($G_Y = 0$). Тогда

$$\sigma_1 = \frac{[1,05 \cdot G_M + 0,95 \cdot 1,05 \cdot G_O]}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_i} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot S - 0,95 \cdot 1,2 \cdot P_{изб}) \cdot r}{2 \cdot t_i}.$$

Занесем данные о весе оборудования в таблицу 11.

Таблица 11 – Вес конструкций

Конструкция	Вес конструкции, Н
Стенка	378666
Крыша	223618,95
Лестница	11673,9
Площадки на крыше	30460,05
Комплекующие конструкции	16765,29
Люки и патрубки	13518,18

Вес металлоконструкции складывается из массы стенки и крыши

$$G_M = G_{Mcm} + G_{Mкр}, \quad (7)$$

где G_{Mcm} – вес металлоконструкции стенки выше расчетной точки;

$G_{Mкр}$ – вес металлоконструкции крыши выше расчетной точки.

Вес металлоконструкции стенки выше расчетной точки рассчитывается по формуле

$$G_{Mcm} = v_{cm} \cdot \rho_{cm}, \quad (8)$$

где ρ_{cm} – плотность материала металлоконструкции, $\rho_{cm} = 7850$ кг/м³;

v_{cm} – объем одного пояса.

Объем *i*-пояса рассчитывается по формуле

$$v_{cm} = t_i \cdot h_L \cdot 2\pi \cdot r \cdot g, \quad (9)$$

где t_i – то же, что и в формуле (6);

h_L – высота листа, м;

r – то же, что и в формуле (6);

g – ускорение свободного падения, м/с².

Рассчитаем вес металлоконструкции стенки выше расчетной точки для всех поясов по формулам (8) и (9)

$$G_{Mcm1} = 9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 49223,09 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm2} = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 43753,86 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm3} = 7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 38284,63 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm4} = 7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 38284,63 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm5} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 32815,39 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm6} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 32815,39 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm7} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 32815,39 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm8} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 32815,39 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm9} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 32815,39 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm10} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 32815,39 \text{ Н};$$

$$G_{Mcm11} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,49 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 32815,39 \text{ Н}.$$

Найдем суммарный вес металлоконструкции стенки выше расчетной точки

$$G_{Mcm} = G_{Mcm1} + G_{Mcm2} + G_{Mcm3} + G_{Mcm4} + G_{Mcm5} + G_{Mcm6} + G_{Mcm7} + G_{Mcm8} + G_{Mcm9} + G_{Mcm10} + G_{Mcm11}, \quad (10)$$

$$G_{Mcm} = 49223,09 + 43753,86 + 2 \cdot 38284,63 + 7 \cdot 32815,39 = 399253,94 \text{ Н.}$$

Найдем вес металлоконструкции выше расчетной точки

$$G_M = 399253,94 + 223618,95 = 622872,89 \text{ Н.}$$

Вес стационарного оборудования складывается из веса лестницы, площадок на крыше, комплектующих конструкций, люков и патрубков

$$G_O = G_{Oлс} + G_{Oпл} + G_{Oком} + G_{Oлюк}, \quad (11)$$

где $G_{Oлс}$ – вес лестницы, Н;

$G_{Oпл}$ – вес площадки на крыше, Н;

$G_{Oком}$ – вес комплектующих конструкций, Н;

$G_{Oлюк}$ – вес люков и патрубков, Н.

Вес стационарного оборудования выше расчетной точки будет равен

$$G_O = 11673,9 + 30460,05 + 16765,29 + 13518,18 = 72417,42 \text{ Н.}$$

Определим меридиональные напряжения для каждого пояса стенки резервуара.

Для первого пояса

$$\sigma_{1,1} = \frac{[1,05 \cdot 622872,89 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot 72417,42]}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 9 \cdot 10^{-3}} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-3}} = 2138759,56 \text{ Па;}$$

для второго пояса

$$\sigma_{1,2} = \frac{[1,05 \cdot 573649,8 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot 72417,42]}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} = 2270536,97 \text{ Па;}$$

для третьего пояса

$$\sigma_{1,3} = \frac{[1,05 \cdot 529895,94 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot 72417,42]}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 7 \cdot 10^{-3}} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 7 \cdot 10^{-3}} = 2457208,20 \text{ Па;}$$

для четвертого пояса

$$\sigma_{1,4} = \frac{[1,05 \cdot 491611,31 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot 72417,42]}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 7 \cdot 10^{-3}} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 7 \cdot 10^{-3}} = 2336728,39 \text{ Па;}$$

для пятого пояса

$$\sigma_{1,5} = \frac{\left[1,05 \cdot 453327,54 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot \right.}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \cdot 72417,42 + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 2585623,34 \quad \text{Па;}$$

для шестого пояса

$$\sigma_{1,6} = \frac{\left[1,05 \cdot 420511,29 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot \right.}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \cdot 72417,42 + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 2465143,55 \quad \text{Па;}$$

для седьмого пояса

$$\sigma_{1,7} = \frac{\left[1,05 \cdot 387695,01 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot \right.}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \cdot 72417,42 + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 2344663,73 \quad \text{Па;}$$

для восьмого пояса

$$\sigma_{1,8} = \frac{\left[1,05 \cdot 354879,62 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot \right.}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \cdot 72417,42 + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 2224180,68 \quad \text{Па;}$$

для девятого пояса

$$\sigma_{1,9} = \frac{\left[1,05 \cdot 322064,23 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot \right.}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \cdot 72417,42 + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 2103700,89 \text{ Па;}$$

для десятого пояса

$$\sigma_{1,10} = \frac{\left[1,05 \cdot 289248,84 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot \right.}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \cdot 72417,42 + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 1983221,09 \text{ Па;}$$

для одиннадцатого пояса

$$\sigma_{1,11} = \frac{\left[1,05 \cdot 289248,84 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot \right.}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \cdot 72417,42 + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 1020 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 1862741,31 \text{ Па;}$$

Кольцевое напряжение вычисляется для нижней точки каждого пояса по формуле

$$\sigma_2 = \frac{(g \cdot \rho_{нп} \cdot (H_{взл} - z) + 1,2 \cdot P_{изб}) \cdot r}{t_i}, \quad (12)$$

где $H_{взл}$ – высота налива нефтепродуктов, $H_{взл} = 15,4$ м;

z – расстояние от днища до нижней кромки пояса;

$\rho_{нп}$ – плотность нефтепродукта при минимальной температуре района

проектирования РВСП, $\rho_{248} = 798 \text{ кг/м}^3$;

r – то же, что и в формуле (6);

t_i – то же, что и в формуле (6);

g – то же, что и в формуле (9).

Считаем кольцевые напряжения для каждого пояса резервуара.

Для первого пояса

$$\sigma_{2,1} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{9 \cdot 10^{-3}} = 99891600,38 \text{ Па};$$

для второго пояса

$$\sigma_{2,2} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{8 \cdot 10^{-3}} = 101311558,9 \text{ Па};$$

для третьего пояса

$$\sigma_{2,3} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 \cdot 2 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{7 \cdot 10^{-3}} = 103137219,8 \text{ Па};$$

для четвертого пояса

$$\sigma_{2,4} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 \cdot 3 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{6 \cdot 10^{-3}} = 105571434,4 \text{ Па};$$

для пятого пояса

$$\sigma_{2,5} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 \cdot 4 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{6 \cdot 10^{-3}} = 90816112,4 \text{ Па};$$

для шестого пояса

$$\sigma_{2,6} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 \cdot 5 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{6 \cdot 10^{-3}} = 76060790,36 \text{ Па};$$

для седьмого пояса

$$\sigma_{2,7} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 \cdot 6 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{6 \cdot 10^{-3}} = 61305468,31 \text{ Па};$$

для восьмого пояса

$$\sigma_{2,8} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 \cdot 7 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{6 \cdot 10^{-3}} = 46550146,27 \text{ Па};$$

для девятого пояса

$$\sigma_{2,9} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 \cdot 8 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{6 \cdot 10^{-3}} = 31794824,23 \text{ Па};$$

для десятого пояса

$$\sigma_{2,10} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 \cdot 9 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{6 \cdot 10^{-3}} = 17039502,18 \text{ Па};$$

для одиннадцатого пояса

$$\sigma_{2,11} = \frac{(9,81 \cdot 798 \cdot (15,4 - 1,49 \cdot 10 - 0,3) + 1,2 \cdot 200) \cdot 7,59}{6 \cdot 10^{-3}} = 2284180,14 \text{ Па}.$$

В таблице 12 представлены расчетные меридиональные и кольцевые напряжения, воздействующие на каждый пояс.

Таблица 12 – Напряжения, действующие на каждый пояс

Пояс	Меридиональные напряжения, МПа	Кольцевые напряжения, МПа
1	2,14	99,89
2	2,27	101,31
3	2,46	103,14
4	2,34	105,57
5	2,59	90,82
6	2,47	76,06
7	2,35	61,31
8	2,22	46,55
9	2,10	31,80
10	1,98	17,04
11	1,86	22,84

Зная кольцевые и меридиональные напряжения, производим проверочные расчеты на прочность для поясов стенки резервуара

$$\frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} = \frac{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8}{1,05} = 190,5 \text{ МПа.}$$

Для первого пояса

$$\sqrt{2,14^2 - 2,14 \cdot 99,89 + (99,89)^2} \leq \frac{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8}{1,05};$$

$$98,8 \text{ МПа} \leq 190,5 \text{ МПа.}$$

Для второго пояса

$$\sqrt{2,27^2 - 2,27 \cdot 101,31 + (101,31)^2} \leq \frac{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8}{1,05};$$

$$100,2 \text{ МПа} \leq 190,5 \text{ МПа}.$$

Для третьего пояса

$$\sqrt{2,46^2 - 2,46 \cdot 103,14 + (103,14)^2} \leq \frac{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8}{1,05};$$

$$101,9 \text{ МПа} \leq 190,5 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется. Прочность резервуара обеспечена. Если для первых 3 поясов условие выполняется, то оно будет выполняться и для остальных поясов.

3.3 Расчет стенки резервуара на устойчивость

Листовые конструкции резервуара представляет собой тонкостенную цилиндрическую оболочку вращения, способной терять устойчивость под воздействием сжимающих напряжений.

Расчет стенки на устойчивость выполняется в соответствии со СНиП II-23-81 [12] и включает проверку толщин поясов стенки, необходимость установки промежуточных ветровых колец, а также назначение мест установки и сечений колец, если они требуются.

Необходимо произвести проверку соотношения

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{a1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{a2}} \leq 1, \quad (13)$$

где σ_{a1} – меридиональное критическое напряжение, МПа;

σ_{a2} – кольцевое критическое напряжение, МПа;

σ_1 – меридиональное напряжение стенки резервуара, МПа;

σ_2 – кольцевое напряжение стенки резервуара, МПа.

Меридиональное критическое напряжение определяется по формуле

$$\sigma_{a1} = C_i E \frac{t_{\min}}{r}, \quad (14)$$

где E – модуль упругости первого рода (модуль Юнга), $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па;

t_{\min} – расчетная толщина самого тонкого пояса стенки резервуара (верхнего), $t_{\min} = 6$ мм – толщина одиннадцатого пояса стенки резервуара;

C_i – коэффициент, зависящий от радиуса и толщины стенки резервуара.

Чтобы посчитать коэффициент C_i , необходимо найти отношение $\frac{r}{t_{\min}}$.

Определяем отношение

$$\frac{r}{t_{\min}} = \frac{7,59}{0,006} = 1265, \quad (15)$$

где t_{\min} – то же, что и в формуле (14);

r – то же, что и в формуле (6).

Полученное значение попадает в интервал

$$1220 \leq \frac{r}{t_{\min}} \leq 2500.$$

Исходя из полученного интервала, находим C_i по следующей формуле

$$C_i = 0,085 - \frac{r}{t_{\min} \cdot 10^5}, \quad (16)$$

где t_{\min} – то же, что и в формуле (14);

r – то же, что и в формуле (6).

$$C_i = 0,085 - \frac{7,59}{0,006 \cdot 10^5} = 0,07235.$$

Тогда меридиональное критическое напряжение составит

$$\sigma_{a1} = 0,07235 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \frac{0,006}{7,59} = 12,01 \text{ МПа.}$$

Вычисляем кольцевое критическое напряжение по формуле

$$\sigma_{a2} = 0,55E \cdot \left(\frac{r}{H_r} \right) \cdot \left(\frac{t_{\min}}{r} \right)^{1,5}, \quad (17)$$

где H_r – редуцированная высота резервуара, м;

r – то же, что и в формуле (6);

t_{\min} – то же, что и в формуле (14).

Редуцированная высота резервуара определяется по формуле

$$H_r = \sum h_L \left(\frac{t_{\min}}{t_i} \right)^{2,5}, \quad (18)$$

где h_L – то же, что и в формуле (9);

t_{\min} – то же, что и в формуле (12);

t_i – то же, что и в формуле (6).

$$\begin{aligned} H_r &= 1,49 \left(\frac{0,006}{0,006} \right)^{2,5} \cdot 7 + 1,49 \left(\frac{0,006}{0,007} \right)^{2,5} \cdot 2 + 1,49 \left(\frac{0,006}{0,008} \right)^{2,5} \\ &+ 1,49 \left(\frac{0,006}{0,009} \right)^{2,5} = 13,72 \quad \text{м.} \end{aligned}$$

Тогда кольцевое критическое напряжение составит

$$\sigma_{a2} = 0,55 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \left(\frac{7,59}{13,72} \right) \cdot \left(\frac{0,006}{7,59} \right)^{1,5} = 1,42 \text{ МПа.}$$

Кольцевое критическое напряжение для i -го пояса резервуара вычислим по следующей формуле

$$\sigma_{2,i} = (0,95 \cdot 1,2 \cdot 200 + 0,95 \cdot 0,5 \cdot \mu \cdot W_m) \cdot \frac{r}{t_i}, \quad (19)$$

где μ – то же, что и в формуле (1);

W_m – то же, что и в формуле (2);

r – то же, что и в формуле (6);

t_i – то же, что и в формуле (6).

Выбираем для расчета одиннадцатый пояс резервуара. Тогда

$$\sigma_{2,11} = (0,95 \cdot 1,2 \cdot 200 + 0,95 \cdot 0,5 \cdot 0,85 \cdot 224,25) \cdot \frac{7,59}{0,006} = 0,40 \text{ МПа.}$$

После того, как были посчитаны все необходимые параметры, можно произвести проверку на устойчивость замкнутой круговой цилиндрической оболочки вращения, подверженной одновременному действию сжимающих нагрузок вдоль оси и в радиальном направлении оболочки.

$$\frac{1,86}{12,01} + \frac{0,40}{1,42} \leq 1,$$

$$0,44 \leq 1.$$

Условие выполняется. Устойчивость стенки резервуара обеспечена. Установка колец жесткости не требуется.

3.4 Расчет резервуара на опрокидывание и определение контурного давления на фундамент

Опрокидывающий момент, действующий на резервуар в результате ветрового воздействия, определяется по следующей формуле:

$$M_w = \gamma_n \cdot (M_{ws} + M_{wr}) \cdot \frac{W_m}{W_0}, \quad (20)$$

где γ_n – то же, что и в формуле (5);

M_{ws} – опрокидывающий момент от действия ветра на стенку резервуара;

M_{wr} – опрокидывающий момент от действия ветра на крышу резервуара;

W_m – то же, что и в формуле (2);

W_0 – то же, что и в формуле (3).

Опрокидывающий момент от действия ветра на стенку резервуара определяется по формуле

$$M_{ws} = F \cdot b, \quad (21)$$

где F – сдвигающая сила от действия ветра на стенку;

b – координата приложения равнодействующей силы.

Сдвигающая сила от действия ветра на стенку определяется по формуле

$$F = 0,575 \cdot D \cdot W_m \left[1 - 0,705 \cdot \left(\frac{H}{10} \right)^3 + 4,642 \cdot \left(\frac{H}{10} \right)^2 + 4,815 \cdot \left(\frac{H}{10} \right) \right], \quad (22)$$

где D – диаметр резервуара;

W_m – то же, что и в формуле (2);

H – высота стенки резервуара.

Тогда сдвигающая сила от действия ветра на стенку по формуле (23) будет равна

$$F = 0,575 \cdot 15,18 \cdot 224,25 \cdot \left[1 - 0,705 \cdot \left(\frac{16,39}{10} \right)^3 + 4,642 \cdot \left(\frac{16,39}{10} \right)^2 + 4,815 \cdot \left(\frac{16,39}{10} \right) \right] = 35,7 \text{ кН.}$$

Координата приложения равнодействующей силы зависит от высоты резервуара:

$$b = 2,5 + 0,57 \cdot (H - 5), \quad (24)$$

$$b = 2,5 + 0,57 \cdot (16,39 - 5) = 8,992 \text{ м.}$$

Тогда имеем

$$M_{ws} = 35,7 \cdot 8,992 = 321,01 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Опрокидывающий момент от действия ветра на крышу резервуара

$$M_{wr} = 0,84 \cdot S_r \cdot x_r \cdot W_m, \quad (25)$$

где S_r – площадь вертикальной проекции крыши;

x_r – расстояние от днища до центра тяжести крыши резервуара;

W_m – то же, что и в формуле (2).

Площадь вертикальной проекции крыши определяется по формуле

$$S_r = \frac{1}{2} h \cdot 2r, \quad (26)$$

где h – высота образующей крыши, м;

r – то же, что и в формуле (6).

Высота образующей крыши вычисляется по формуле

$$h = \operatorname{tg} \alpha \cdot r, \quad (27)$$

где α – угол между основанием крыши и ее образующей;

r – то же, что и в формуле (6).

Высота образующей крыши по равна

$$h = \operatorname{tg}(9^\circ) \cdot 7,59 = 1,20 \text{ м.}$$

Площадь вертикальной проекции крыши составляет

$$S_r = \frac{1}{2} \cdot 1,20 \cdot 2 \cdot 7,59 = 9,108 \text{ м}^2.$$

Расстояние от днища до центра тяжести крыши резервуара находится по формуле

$$x_r = x'_r + H, \quad (28)$$

где x'_r – расстояние от основания крыши до центра тяжести крыши;

H – то же, что и в формуле (22).

Расстояние от основания крыши до центра тяжести крыши

$$x'_r = \frac{1}{4} h, \quad (29)$$

где h – то же, что и в формуле (26).

Расстояние от основания крыши до центра тяжести крыши равно

$$x'_r = \frac{1}{4} \cdot 1,20 = 0,3 \text{ м.}$$

Расстояние от днища до центра тяжести крыши резервуара составляет

$$x_r = 0,3 + 16,39 = 16,69 \text{ м.}$$

Опрокидывающий момент от действия ветра на крышу резервуара равен

$$M_{wr} = 0,84 \cdot 9,108 \cdot 16,69 \cdot 224,25 = 28,63 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Опрокидывающий момент, действующий на резервуар в результате ветрового воздействия, составляет

$$M_w = 1,05 \cdot (321,01 + 28,63) \cdot \frac{224,25}{480} = 171,51 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Расчетная нагрузка на фундаментное кольцо характеризуется максимальным и минимальным значениями, соответствующими диаметрально противоположным участкам фундамента (рисунок 2). Максимальная и минимальная нагрузки определяются соответственно, как сумма и разность максимальных осесимметричных нагрузок, создающих равномерное распределение усилий по периметру фундамента (вес резервуара, снеговая нагрузка) и кососимметричных нагрузок, вызывающих неравномерное распределение усилий (ветровая и сейсмическая нагрузки).

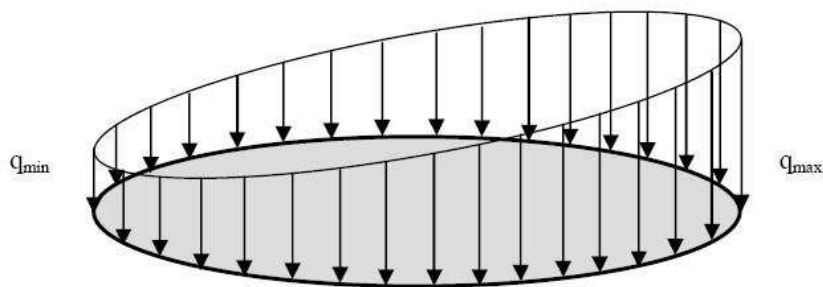


Рисунок 2 – Нагрузки на фундаментное кольцо резервуара

Максимальная расчетная нагрузка на фундаментное кольцо определяется по формуле

$$q_{\max} = \frac{Q_{\max}}{2\pi r} + \frac{M_w}{\pi r^2}, \quad (30)$$

где M_w – то же, что и в формуле (20);

r – то же, что и в формуле (6);

Q_{\max} – расчетная максимальная осесимметричная нагрузка на фундамент резервуара.

Ширину фундаментного кольца за вычетом выступающего за стенку участка принять равным двум радиусам.

Расчетная максимальная осесимметричная нагрузка на фундамент резервуара определяется по формуле

$$Q_{\max} = 1,05G_M + 0,95 \cdot 1,05G_O + (0,9 \cdot f_{sk} \cdot S + 0,95 \cdot 1,2 \cdot P_{\text{бак}}) \cdot \pi r^2, \quad (31)$$

где G_M – то же, что и в формуле (6);

G_O – то же, что и в формуле (6);

f_{sk} – коэффициент, учитывающий форму крыши, $f_{sk} = 1$.

Тогда расчетная максимальная осесимметричная нагрузка на фундамент резервуара примет вид

$$Q_{\max} = 1,05 \cdot 622,8 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot 72,4 + \\ + (0,9 \cdot 1 \cdot 1,02 + 0,95 \cdot 1,2 \cdot 0,2) \cdot 3,14 \cdot 7,59^2 = 933,46 \text{ кН.}$$

Расчетная минимальная осесимметричная нагрузка на фундамент резервуара:

$$Q_{\min} = G_M + 0,95 \cdot G_O - 0,95 \cdot 1,2 \cdot P_{\text{вак}} \cdot \pi r^2, \quad (32)$$

где G_M – то же, что и в формуле (6);

G_O – то же, что и в формуле (6);

r – то же, что и в формуле (6).

Получим:

$$Q_{\min} = 622,8 + 0,95 \cdot 72,4 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 0,2 \cdot 3,14 \cdot 7,59^2 = 650,3 \text{ кН.}$$

Расчетная нагрузка на фундаментное кольцо равна

$$q_{\max} = \frac{933,46}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,59} + \frac{171,51}{3,14 \cdot 7,59^2} = 20,53 \text{ кН/м.}$$

Резервуар считается устойчивым к опрокидыванию, если момент от вертикальных удерживающих сил, действующих на пустой резервуар, превышает момент сил, вызванных ветровой нагрузкой. Если условие выполняется, то установка анкеров не требуется.

Произведем проверку по формуле

$$M_w \leq (Q_{\min} - F_{\text{wvr}}) \cdot r, \quad (33)$$

где F_{wvr} – подъемная сила от действия ветра на крышу;

r – то же, что и в формуле (6).

Подъемная сила от действия ветра на крышу определяется по формуле

$$F_{wvr} = 0,84 \cdot \gamma_n \cdot \pi \cdot r^2 \cdot W_0, \quad (34)$$

где γ_n – то же, что и в формуле (5);

W_0 – то же, что и в формуле (3);

r – то же, что и в формуле (6).

Подъемная сила от действия ветра на крышу равна

$$F_{wvr} = 0,84 \cdot 1,05 \cdot 3,14 \cdot 7,59^2 \cdot 480 = 76,58 \text{ кН.}$$

Проверка условия, указанного в формуле (33)

$$171,51 \leq (650,3 - 76,58) \cdot 7,59 = 4354,53$$

$$171,51 \text{ кН} \cdot \text{м} \leq 4354,53 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Условие выполняется. Резервуар устойчив к опрокидыванию. Установка анкеров не требуется.

4 Технологическая часть

4.1 Способы устранения дефектов металлоконструкций резервуара

Согласно СО 02-04-АКТНП-007 – 2006 [13], поверхностные дефекты основного металла и сварных швов составных элементов металлоконструкций вертикальных стальных резервуаров толщиной до $0,1t$, где t – проектная толщина металла элемента конструкции, устраняют шлифовкой; устранение дефектов при глубине до $0,5t$ и при площади одного дефектного участка до $0,01 \text{ м}^2$ (100 см^2) осуществляется наплавкой с предварительной зачисткой, при этом данный метод устранения дефектов применим, если суммарная площадь всех

дефектов на одном листе составляет не более 10 %, при том, что листом считается элемент, площадь поверхности которого составляет не менее 9 м², то есть наплавку металла с предварительной следует применять, если на листе данной площади суммарная площадь всех дефектов составляет не более 0,9 м²; устранение дефектов глубиной более 0,5t при суммарной площади всех дефектов на одном листе до 50 % осуществляется заменой дефектного участка элемента металлоконструкции; дефекты глубиной более 0,5t с суммарной площадью более 50 % одного листа или элемента металлоконструкции производится заменой данного листа или элемента конструкции; если в основных конструкциях резервуара, а именно в днище, окрайках, стенке и крыши число дефектных листов составляет более 50%, то соответствующая конструкция подлежит ее полной замене. Что касается наплавки с предварительной зачисткой, то наплавленные валики должны иметь строго плавный переход к основному металлу, а также увеличение толщины каждого листа после наплавки не должно превышать 1 мм. При наличии дефектных листов стенки, превышающем 50 % от общего числа листов всех поясов стенки, принимаются решения об экономической целесообразности выполнения ремонта всего резервуара.

Главным основанием решения вопроса о замене резервуара являются: неудовлетворительное качество металла согласно требованиям технической документации по механическим свойствам; недопустимый брак строительства металлоконструкций; недопустимое наличие зон, подвергнувшихся коррозии; экономическая целесообразность об осуществлении ремонта данного сооружения.

4.1.1 Устранение дефектов днища при его полном поверхностном повреждении

Как было указано ранее, вся поверхность днища исследуемого резервуара, включая внутренние участки кольцевых окрайек, полностью

подвержены коррозией. Значит, в нашем случае придется производить замену данной конструкции. Замена днища резервуара производится следующим образом. В начале производится его зачистка от хранимого нефтепродукта и донных отложений. Резервуар пропаривается. Далее от него отсоединяются все подводящие трубопроводы. При основном процессе замены днища у первого пояса стенки вырезается монтажное окно размерами 2000*1500 мм. Резервуар от основания с помощью специальных гидравлических домкратов поднимают на высоту от 150 до 200 мм. В местах установки домкратов к стенке резервуара привариваются специальные ребра жесткости, находящиеся на расстоянии 0,4 м от основания. Расстояние между ребрами жесткости должно составлять от 2 до 2,5 м. Число домкратов зависит от размеров резервуара, обычно это число составляет от 8 до 10 домкратов. Днище сооружения разрезается на участки, которые в свою очередь заранее были отрезаны от стенки по всему ее периметру. Срезанный металл ликвидируется. Далее производится нивелировка основания и, при необходимости, его исправление с наложением нового гидроизоляционного слоя. На конечном этапе через вырезанное ранее упомянутое окно доставляются заготовленные листы окрайки и днища. Листы центральной части днища, также как и кольцевые окрайки, свариваются друг с другом стыковыми швами. Центральная часть днища и кольцевые окрайки соединяются между собой нахлесточными швами. Остальная составляющая резервуара (стенка с крышей) опускается на кольцевые окрайки. Далее происходит сварка соответствующих элементов круговыми тавровыми швами [14].

4.1.2 Устранение хлопунгов днища

Хлопуны днища устраняют следующим образом. На вершину хлопуна врезают штуцер для закачки цементного, песчано-цементного или бурового раствора. В хлопуны с диаметром, превышающем 5 м, врезают несколько штуцеров с расстоянием между ними до 5 м. На конце штуцера должен быть

специальный разъем, служащий для обеспечения герметичного соединения с насосом, который под давлением подает раствор. Закачку раствора контролируют по объему заполнения всей полости хлопуна. За критическую величину заполняемости хлопуна принимают ход его полотнища в крайних точках до 10 мм. В процессе ремонта центральной части днища для удаления из-под него воздуха допускается сверлить отверстия диаметром до 10 мм вокруг штуцера на расстояние более 1000 мм. После затвердевания раствора штуцера от соединения с насосами отрезают. Для обеспечения безопасных условий труда удаление штуцера производят отрезным кругом, поскольку при газовой или электродуговой резке цементный раствор растрескивается. Остатки сварных соединений приварки штуцеров удаляют абразивным инструментом. Далее, после удаления штуцеров, на их отверстия приваривают накладки размерами 200*200 мм. Марку стали и толщину проката выбирают в соответствии с паспортом резервуара. Если паспорт резервуара отсутствует, то толщину проката принимают в соответствии с типовым проектом или по результатам измерения толщины днища, марка стали определяется проведением химического анализа. Если достоверное определение химических свойств металла невозможно, то принимают марку стали 09Г2С, а толщину, равную 6 мм. После зачищают кромки заготовки и место приварки к полотнищу на участке шириной не менее 10 мм в обе стороны. Заварку накладок производят плотным швом за два прохода электродами Э50А диаметром не более 4 мм. Режим сварки принимается по паспорту электрода [15].

4.1.3 Устранение сквозных отверстий днища

Сквозные отверстия днища устраняют следующим образом. По концам листов, подвергнувшихся образованию данных дефектов, распускают сварные швы и удаляют дефектные листы. Удаленные листы заменяют новыми. Наплавку швов производят с толщиной, соответствующей толщине остальных

швов по всему периметру днища [16].

4.1.4 Устранение поверхностных трещин в сварных соединениях

Поверхностные трещины устраняют следующим образом. Концы трещины в начале засверливают, чтобы она не распространилась дальше по шву; затем трещину удаляют строжкой или механическим путем; далее место удаления дефектного участка зачищают и заваривают. Внутренние трещины, также как и остальные внутренние дефекты, удаляются строжкой или механическим путем с дальнейшей заваркой соответствующего места удаления дефектного участка [16].

4.1.5 Дефекты, устраняемые методом электродуговой наплавки

Устранение локальных коррозионных повреждений, царапин, вырывов основного металла, а также наружных и внутренних дефектов сварных швов, таких как свищи, шлаковые включения нарушение непрерывности шва и т. д., производится электродуговой наплавкой.

Предотвращение дефектов вертикальных стальных резервуаров электродуговой наплавкой осуществляется при ремонте металлоконструкций с толщиной стенки листов от 6 до 14 мм.

Дефектами, удаляемыми наплавкой, являются:

- локальные коррозионные повреждения;
- поверхностные дефекты (царапины, вырывы металла, риски);
- дефекты сварных швов (подрезы, шлаковые включения, нарушения непрерывности швов, чешуйчатость).

Удаление дефектов металлоконструкций методом наплавки допускается осуществлять при глубине дефектов, учитывая глубину обработки дефекта, не более 50 % от толщины листа и при коррозионном поражении до 10 % площади листа. Расстояние между участками, подготовленными к наплавке, должно

быть не менее 500 мм. Сущность метода электродуговой наплавки заключается в нанесении на поверхность дефектного участка слоя металла, обеспечивающего увеличение толщины элемента конструкции до его проектной величины, а также придание механических свойств наплавляемого металла соответствующему основному металлу.

При устранении дефектов методом наплавки должны соблюдаться следующие требования:

- наплавка производится не менее чем в два слоя;
- при ремонте стенки резервуара сварка вертикальных швов должна выполняться в направлении «снизу-вверх» на короткой дуге с поперечными колебаниями направлением «снизу-вверх»;
- сварка между слоями, а также между наложением валиков в одном слое должна проводиться без длительных перерывов, при температуре ниже плюс 5 градусов Цельсия перерыв между окончанием наложения первого и началом наложения второго слоя не должен длиться более минуты;
- по окончании сварки места ремонта должны быть накрыты теплоизоляционным материалом до полного их остывания.

Все обнаруженные дефекты должны подвергаться механической обработке для полного удаления продуктов коррозии, а также придания плавного перехода и гладкой формы, как для отдельного элемента, так и для прилегающих элементов конструкции, что позволяет обеспечить равномерное и качественное выполнение наплавки. Глубина механической обработки должна составлять не более 50 % глубины всего изделия, при этом зачистка происходит до глубины не менее 1 мм от дна дефектного участка. Если дефекты расположены между собой на расстоянии менее 50 мм, то они считаются одним дефектом, и для них делают одну общую сварочную ванну при наплавке.

Перед выполнением сварочных работ происходит контроль поверхности выборки металла на полноту удаления дефектов. Дефектные листы при их ремонте электродуговой наплавкой, должны быть полностью просушены, как правило, при температуре от 60 до 70 °С, для удаления влаги на элементах

металлоконструкций, а именно, снега, инея и конденсата. Наплавка подготовленного участка производится за один прием. Наплавленные валики должны иметь мелкую чешуйчатость и плавный переход к основному металлу. Подрезы должны отсутствовать. После наплавки допускается увеличение толщины стенки не более 1 мм. Для того, чтобы уменьшить внутренние напряжения и предотвратить образование трещин наплавку следует проводить короткими участками. Длина наплавленного участка должна быть в пределах от 50 до 70 мм. Наплавку осуществляют таким образом, чтобы валики первого слоя перекрывали друг друга на величину 2-3 мм, а валики второго слоя смещались относительно первого так, чтобы край валика второго слоя приходился на середину валика первого слоя. При длине наплавленного участка более 70 мм, как правило, применяют многокаскадную наплавку [13]. Схема наплавки изображена на рисунке 1.

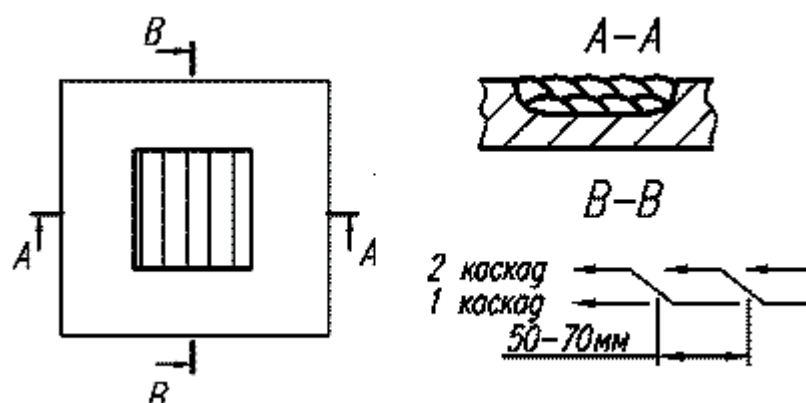


Рисунок 1 – Схема наплавки

4.2 Мероприятия по защите металлоконструкций от разрушений

4.2.1 Подготовка наружной поверхности резервуара к антикоррозионному покрытию

При подготовке резервуара к покраске наружной поверхности производят

удаление коррозионных образований, пришедшего в негодность защитный слой, грязь. Снятие коррозии с металла осуществляют механическим и химическим способом. При механическом способе используют механические шкурки малой, средней и крупной зернистости, шлифовальные круги или металлические щетки. При химическом способе – мочный состав, состоящий на 39 % из воды, 35 % фосфорной кислоты, 20 % этилового спирта, 5% бутилового спирта и 1 % гидрохинона. Данный мочный состав наносят на поверхность, подвергнувшуюся коррозии, на 3...5 минут, после этого химический состав с продуктами коррозии смывают горячей водой, а поверхность насухо протирают [17].

4.2.2 Технология нанесения антикоррозионного покрытия на наружную поверхность резервуара

На подготовленную поверхность резервуаров ровным слоем наносят грунт при помощи пневматического распылителя. При этом большое внимание уделяется исключению образования подтеков. Данная операция направлена на защиту металла от коррозии и сцепляемость лакокрасочных покрытий с металлом. После завершения данных работ на наружную поверхность наземных резервуаров наносят лакокрасочные покрытия светлых типов, обладающие тепло отражательным эффектом и антикоррозионными свойствами. Окончательно окрашенная поверхность должна иметь одинаковую толщину слоя без подтеков и других дефектов [17].

4.2.3 Электрохимическая защита днища резервуара от почвенной коррозии

От почвенной коррозии днища резервуаров защищают гидроизоляционным слоем, а также используют электрохимическую защиту, когда к днищу резервуара электрически присоединяют протекторы.

Электрохимическая защита металла от коррозии основана на использовании следующего явления: прекращения коррозии металлов под действием постоянного электрического тока.

Поверхность любого металла, как правило, гальванически неоднородна, что и является основной причиной его коррозии в растворах электролитов, к которым относятся все пластовые подтоварные воды. При этом разрушаются только участки поверхности металла с наиболее отрицательным потенциалом (аноды), с которых ток стекает во внешнюю среду, а участки металлов с более положительным потенциалом (катоды), в которые ток втекает из внешней среды, не разрушаются.

Механизм действия электрохимической защиты заключается в превращении всей поверхности защищаемой металлической конструкции в один общий неразрушающийся катод. Анодами при этом будут являться подключенные к защищаемой конструкции электроды из более электроотрицательного металла – протекторы. Поэтому такая электрохимическая защита резервуаров от коррозии называется протекторной.

Электрический защитный ток при протекторной защите получается вследствие работы гальванической пары: протектор – защищаемая конструкция. При своей работе протекторы постепенно изнашиваются, т. е. анодно растворяются, защищая при этом основной металл, поэтому их и называют «жертвенными анодами».

Электрохимическая защита является единственно эффективным средством против наиболее локальных видов коррозии металлов. При этом данный вид защиты металла предотвращает дальнейшее развитие уже имеющихся коррозионных разрушений, т. е. она одинаково эффективна как для строящихся, так и для находящихся в эксплуатации даже больших резервуаров и другого оборудования [17].

4.2.4 Подготовка внутренней поверхности резервуара к нанесению антикоррозионного покрытия

Технологический процесс подготовки внутренних поверхностей резервуаров для нанесения антикоррозионных покрытий по своей сложности и последовательности резко отличается от процесса подготовки наружных поверхностей. В нем можно выделить следующие поэтапные операции:

- слив нефтепродуктов из резервуара;
- зачистка внутренней поверхности резервуара;
- дегазация резервуара;
- обезжиривание внутренней поверхности;
- обработка внутренней поверхности песком (с помощью пескоструйки во взрывозащищенном исполнении);
- очистка внутренней поверхности от песка и грязи;
- нанесение на места коррозии моечного состава (с помощью волосяных щеток);
- промывка внутренней поверхности горячей водой;
- сушка внутренней поверхности при температуре от 5 до 20 градусов Цельсия в течение 2...3 суток (при открытых люках и задвижках);
- проверка качества выполнения подготовительных работ и пригодности поверхностей для покраски (нанесения антикоррозионного слоя) [17].

4.2.5 Технология нанесения антикоррозионного покрытия на внутреннюю поверхность резервуара

На подготовленную внутреннюю поверхность резервуаров ровным слоем наносят грунт при помощи пневматического распылителя. При этом большое внимание уделяется исключению образования подтеков.

Данная операция направлена на защиту металла от коррозии и сцепляемость лакокрасочных покрытий с металлом.

Внутренние поверхности наземных и подземных резервуаров покрывают лакокрасочными материалами в 2...4 слоя с последующей сушкой каждого нанесенного слоя в отдельности.

После завершения работ по антикоррозионной защите внутренней поверхности резервуара оформляется акт приемки работ, к которому прилагается паспорт на применяемые материалы [17].

4.3 Методы антикоррозионной защиты металлических конструкций

Существует несколько методов по обеспечению продления срока службы металлических конструкций. Разберем наиболее применяемые из них.

1) Нанесение антикоррозионного материала типа ЛКМ. ЛКМ – лакокрасочный материал, получил наибольшее распространение при защите металлических конструкций резервуаров от воздействия коррозии. Его наносят на заранее обработанную поверхность металла. Слой материала засыхает, образуя защитное покрытие. Лакокрасочный материал делят на эмаль, лак, грунтовку, краску и шпаклевку. Его легко наносить, он имеет низкую стоимость, однако многие ЛКМ имеют в своем составе летучие растворители, что является опасным при нанесении данного вида материала в замкнутых пространствах [18].

2) Покрытие порошковой краской. Все поверхности, которые допускают к термической обработке, можно покрывать порошковым красителем. Это альтернатива ЛКМ. Сухие краски характеризуются: сыпучестью, способностью поглощать пары воды из воздуха, насыпной плотностью и способностью образовывать кипящий налет, который по технологии нужен для образования покрытия. Данный вид покрытия обладает повышенной прочностью, однако, главный недостаток порошковых красок заключается в том, что при нарушении технологии нанесения возможен взрыв, необходим строгий контроль при нанесении [19].

3) **Цинкование.** Представляет собой нанесение слоя цинка на металл. Цинкование металлических конструкций бывает холодным, горячим, термодиффузионным, гальваническим. При нанесении данного материала на металл, срок эксплуатации металла может увеличиться до 60 лет, однако, его нанесение на большие конструкции влекут немалые денежные затраты [20].

4) **Легирование металлов.** Легирование представляет собой введение в состав металла или сплава нужных примесей. Легирование бывает поверхностным или объемным (введение примеси во весь объем металла) [21]. Данный метод обладает высокой эффективностью, однако, он достаточно дорогой, также как и остальные нижеперечисленные методы защиты.

5) **Ингибирование металла.** Ингибиторы – вещества, служащие для замедления процесса химической реакции, в нашем случае, - коррозионного разрушения металла. Ингибиторы, как правило, применяют при промывании или травлении металла [22].

6) **Деаэрация металлической среды.** Предполагает удаление из водной среды металла кислорода воздуха и других газов. Обработка жидкости бывает химической или вакуумной. В первом случае применяют реагенты, во втором – специальное оборудование [23].

5 Безопасность и экологичность проекта

Объекты по приемке, учету, хранению и отпуску нефтепродуктов, как и предприятия нефтегазовой отрасли в целом, являются опасными производственными объектами. Несоблюдение требований охраны труда, износ оборудования, нарушенная герметичность элементов конструкций, в том числе промышленных трубопроводов, ведет к увеличению риска аварийной ситуации, выражающейся в утечке и разливе хранимого нефтепродукта, а также в возникновении взрывов и пожаров.

На территории рассматриваемого объекта производятся работы с легковоспламеняющимися токсичными веществами, летучими углеводородами,

подверженными в результате несоблюдения соответствующих требований безопасности, воспламенению и взрывам. Все это способствует большим человеческим жертвам, загрязнению окружающей среды и серьезным материальным потерям.

5.1 Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов при проведении работ

Техническое диагностирование проводится на опорожненном резервуаре, очищенном от подтоварной воды, на территории резервуарного парка и площадки внутри обвалования.

При производстве работ возможно наличие следующих вредных и опасных производственных факторов:

- образование взрывоопасной среды внутри резервуара;
- токсичность хранимого нефтепродукта и его паров;
- загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- необходимость в проведении работ на высоте;
- недостаточная освещенность на рабочем месте.

По основному виду экономической деятельности установлен I класс профессионального риска, характеризующий уровень производственного травматизма, профзаболеваемости и расходов по обеспечению по программе обязательного социального страхования. Страховые тарифы на обязательное страхование от несчастных случаев и профессиональных заболеваний на производстве составляют 0,2 % к начисленной оплате труда.

5.2 Инженерные и организационные решения по обеспечению безопасности работ

Территория резервуарного парка расположена во II (III) климатическом регионе, со средней температурой января $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и июля $+17,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, средней скоростью ветра $3,6\text{ м/с}$. Климат муссонный дальневосточный, среднегодовая температура составляет $4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$; среднегодовое количество осадков – 763 мм рт. ст. ; влажность воздуха $71\text{ }%$.

Техническое диагностирование проводится в летнее время года на открытом пространстве предположительно в дневное время суток.

Работы, связанные с техническим диагностированием вертикальных стальных резервуаров, относятся к категории Па – работы средней тяжести с интенсивностью энергозатрат $151 - 200\text{ ккал/час}$ (постоянная ходьба, перемещение мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя, и требующая определенного физического напряжения).

Параметры микроклимата в воздухе рабочей зоны представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в воздухе в рабочей зоне

Период года	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	оптим.	доп.	оптим.	доп.	оптим.	доп.
Теплый	21...23	17...27	40...60	65 (при $26\text{ }^{\circ}\text{C}$)	0,3	0,4

Для поддержания оптимальных параметров воздушной среды вспомогательные и административно-бытовые помещения оснащены системами централизованного отопления, работающими от котельной. Также здания оборудованы системами вентиляции для предотвращения

загазованности.

Энергетические затраты работ складываются из затрат на дополнительное освещение рабочих мест и на работу диагностического оборудования и измерительных приборов.

5.3 Санитарные требования к помещению и размещению используемого оборудования

Техническое диагностирование проводится на резервуаре типа РВСП объемом 3000 м³ для хранения нефтепродуктов, а именно автомобильного бензина марки АИ-98, высота стенки которого 16,39 м, диаметр 15,18 м. Проектный уровень разлива – 15,4 м³.

В резервуарном парке находится 13 резервуаров типа РВСП, на расстоянии 30 м друг о друга, у которых расстояние от стенок до подошвы внутренних откосов обвалования составляет 6 м. Данные резервуары расположены на пяти участках, в зависимости от вида хранимого нефтепродукта. На участке резервуарного хранения автомобильного бензина марки АИ-98 расположено два резервуара типа РВСП, огражденных замкнутым обвалованием высотой 3,08 м и шириной по верху 1 м, рассчитанным на гидростатическое давление разлившейся жидкости. Ко всем конструктивным элементам резервуара, подлежащим техническому диагностированию, обеспечен свободный доступ.

На территории резервуарного парка находятся опасные проходы, площадки и лестницы, которые могут проходить рядом с перекачивающими трубопроводами и различными нагретыми поверхностями. Такие места оборудованы ограждением и предупредительными знаками.

При диагностике резервуара в воздухе рабочей зоны могут остаться пары нефтепродукта. Источниками выделений паров нефтепродукта обычно являются различные неплотности оборудования, арматура резервуаров, аварийные клапаны. Эти пары являются высокотоксичными веществами,

поражающими главным образом нервную систему, обладают кожно-резорбтивным действием. Поступают в организм преимущественно через дыхательные пути, кожные покровы.

Всем работникам, выполняющим работы по диагностированию, предоставляются средства индивидуальной защиты: шланговый противогаз, комбинезон, ботинки, перчатки, спасательный пояс и канаты; для защиты глаз от пыли, брызг, едких веществ, отлетающих и твердых частиц, работающие пользуются защитными очками; при производстве электрогазосварочных работ применяются соответствующие защитные маски и очки со светофильтром.

Вентиляция внутри резервуара осуществляется с помощью открытых световых люков и люков-лазов.

Уровни вибрации и шума находятся в пределах допустимых значений и равняются: 0 Гц и 60 Дб соответственно, при допустимом значении уровня шума при данных работах, равном 80 Дб. Частичная вибрация наблюдается на стенке резервуара только при его закачке или опорожнении. Основным параметром вибрации является виброускорение, нормативное значение которого равно 2 м/с^2 .

Разряд зрительных работ – II (очень высокой точности). Освещение рабочих мест составляет 190 лк, при допустимых уровнях освещенности от 50 до 300 лк.

Освещение внутри резервуара обеспечивают переносными светильниками напряжением 12 В с питанием от разделительных трансформаторов. Применение автотрансформаторов внутри резервуара запрещено. При недостаточном освещении допускается использование переносных электросветильников, изготовленных во взрывобезопасном исполнении, напряжением не более 12 В.

5.4 Обеспечение безопасности технологического процесса

При диагностике резервуаров наибольшую опасность для здоровья человека представляют остатки нефтепродукта внутри резервуара. Бензин, являющийся горючей жидкостью, представляет высокую пожарную опасность. Кроме того, он имеет в своем составе углеводородный состав молекул от C_5 до C_{11} , которые, испаряясь, создают взрывоопасную концентрацию смеси с воздухом, а бензины с повышенной концентрацией серы, представляет угрозу для жизни и здоровья людей своей высокой токсичностью (класс опасности – 3).

ПДК бензинов в воздухе рабочей зоны составляет 100 мг/м^3 . Контроль воздушной среды проводится на расстоянии от 10 до 12 м от наполняемых резервуаров и у обвалования с подветренной стороны, с помощью газоанализаторов.

При достижении предельно допустимой концентрации вредных веществ принимаются меры по выявлению и устранению источников повышенной загазованности.

Анализ газовоздушной среды проводится перед началом работ, после каждого перерыва в работе и в течение всего времени выполнения работ с периодичностью, указанной в наряде-допуске, но не реже чем через 1 час, а также по первому требованию работающих.

При внезапном увеличении загазованности выше ПДК в зоне производства работ необходимо приостановить все виды работ и в первую очередь огнеопасные. Работникам надеть имеющиеся средства индивидуальной защиты органов дыхания, и срочно покинуть опасную зону, сообщить о случившемся руководителю ремонтных работ.

5.5 Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности

Возможные причины и источники возникновения пожара:

- возгорание вследствие использования искрообразующего инструмента;
- возгорание резервуара вследствие удара молнии при не исправном молниеотводе;
- пожар из-за нарушения техники безопасности, такие как курение на территории резервуарного парка, использование открытого огня;
- возгорание из-за неисправного оборудования.

Пожаровзрывоопасность нефтепродуктов характеризуется способностью смеси их паров с воздухом воспламеняться и взрываться. Взрывоопасность определяется величинами нижнего и верхнего пределов взрываемости, пожароопасность – величинами температур вспышки, воспламенения и самовоспламенения. Взрыво- и пожароопасные свойства бензина представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Взрыво- и пожароопасные свойства бензина

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Температура, К		Предел взрываемости, %	
		Вспышки	Самовоспламенения	НКПВ	ВКПВ
Бензин	100	237	528	0,79	5,16

Обеспечение пожарной безопасности при эксплуатации и ремонте резервуаров должны отвечать требованиям проектной документации, правил пожарной безопасности в Российской Федерации.

По взрывопожарной и пожарной опасности резервуары относятся к категории А (повышенная взрывопожароопасность).

Установки пожаротушения, орошения, сигнализации, связи и первичные средства пожаротушения находятся в исправном состоянии и постоянной готовности к действиям. К узлам управления установками противопожарной защиты и местам подключения к ним передвижной пожарной техники обеспечен свободный доступ. В наличии всегда имеются первичные средства пожаротушения: пожарные щиты, емкости для песка, огнетушители. Техническое содержание систем сигнализации, установок и средств пожарной

автоматики удовлетворяет нормативным требованиям.

Электрооборудование, используемое в резервуарах и резервуарных парках, выполнено во взрывозащищенном исполнении.

Ежегодно перед наступлением грозового сезона необходимо проводят визуальный осмотр и ревизию молниеприемников, болтовых и сварных соединений контуров, обращая внимание на места соединения токоведущих элементов. Омическое сопротивление проверяется не реже одного раза в год в период наибольшего просыхания грунта, т.е. летом.

5.6 Обеспечение безопасности в аварийных и чрезвычайных ситуациях

При подготовке резервуаров к диагностике, а также во время самого диагностирования возможны следующие аварийные ситуации:

- разгерметизация резервуара по причине потери прочности и устойчивости стенки резервуара;
- возгорание резервуара вследствие удара молнии при неисправном молниеотводе;
- разлив нефтепродуктов при опорожнении или наливе резервуара перед диагностикой;
- пожар нефтепродукта вследствие теплового воздействия на него.

Любые аварийные ситуации при работе с нефтепродуктами носят крайне опасный характер. Наиболее опасной ситуацией является взрыв или пожар резервуара, к которому может привести нарушение технологического процесса или изношенность оборудования.

Аварии сопровождаются, как правило, выбросом некоторого количества нефтепродуктов и сопряжены со значительным экологическим и экономическим ущербом.

В случае возникновения аварийной ситуации необходимо немедленно вывести людей из зоны производства работ, в дальнейшем действовать в

соответствии с планом ликвидации аварий.

5.7 Экологичность проекта

Отходы, образующиеся при диагностировании, зачистке и ремонте резервуаров, в том числе твердый осадок отложений в резервуаре, не поддающийся размыву, подлежат:

- вывозу в места временного складирования, согласованные с органами экологического контроля;
- утилизации на имеющихся собственных установках, при их наличии;
- утилизации на установках других предприятий, при наличии договора;
- складированию на полигонах и в местах организованного хранения.

Объекты хранения отходов соответствуют санитарно-эпидемиологическим требованиям гигиенических норм в воздухе рабочей зоны.

Очистка сточных вод производится на очистных сооружениях, таких как флотационные установки, нефтеловушки, аэротенки и биологические пруды.

6 Экономическая часть

В экономической части дипломного проекта представлен расчет затрат на ремонт резервуара РВСП-3000, а также сравнение этих затрат с затратами на приобретение нового резервуара.

Работы по ремонту резервуара РВСП-3000 включают в себя:

- демонтаж днища;
- шлифовка дефектных участков стенки;
- наплавку дефектных участков стенки с предварительной зачисткой;
- наплавку дефектных участков крыши с предварительной зачисткой;
- наплавку дефектных участков сварных швов металлических конструкций с предварительной зачисткой;
- монтаж днища;

- сварку кольцевых окраек днища с 1-ым поясом стенки.

Ремонт резервуара необходим для обеспечения его безопасной эксплуатации на срок не менее 10 лет.

6.1 Необходимость в числе работников и строительной техники

Для проведения данных работ необходимы бригады рабочих, распределяемые в соответствии с их специальностью. Комплектация бригад по специальностям и количеству человек в одной специальности представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Комплектация бригад по специальностям и количеству человек в одной специальности

Наименование бригад по их специальностям	Количество человек в одной специальности
Бригада по погрузочно-разгрузочным работам	
Машинист автокрана	1
Водитель автомобиля	2
Стропальщик	4
Бригада по ремонту металлических конструкций резервуара	
Машинист крана	1
Машинист автогидроподъемника	1
Монтажник конструкций	6
Электросварщик ручной сварки	6
Изолировщик на гидроизоляции	3
Слесарь строительный	1
Сотрудник аварийно-технической группы	8

Таким образом, на проведение ремонта резервуара РВСП-3000 необходимо 33 человека.

Необходимость в наличии основных строительных машинах и механизмах определена в целом по строительству на основании физических

объемов работ и эксплуатационной производительности машин и приведена в таблице 16 с распределением по производственным процессам.

Таблица 16 – Необходимость в наличии основных строительных машинах, механизмах и транспортных средствах на реконструкцию резервуара РВСП-3000

Наименование	Марка и тип машины	Краткая характеристика	Количество маши в одной бригаде, шт.
Бригада по погрузочно-разгрузочным работам			
Транспортные средства			
Автомобиль бортовой	КАМАЗ-43	Г.П.-10т	1
Кран на автомобильном ходу	КС-3577	Г.П.-10т	1
Бригада по ремонту металлических конструкций резервуара			
Кран на гусеничном ходу	РДК-25	Г.П.-25 т (с гуськом)	1
Автогидроподъемник	АГП-22	Макс. Высота подъема 22 м	1
Домкрат гидравлический	2510-35D	Г.П.-12 т	8
Агрегат сварочный	АДД-4004	Предельные значения тока: 60 А – 450 А	6
Печь для прокаливания флюса и электродов	ЭПЭ-40/400		3
Машинка шлифовальная			6
Газопламенный резак			1

Таким образом, для ремонта резервуара РВСП-3000 необходимо 28 единиц техники.

6.2 Заработная плата рабочих и страховые взносы

На ремонт резервуара необходимо 14 дней. Для работника по каждой специальности рабочий день составляет 10 часов (без учета времени приема пищи), т. е. в общей сумме 140 ч. Далее представлена месячная заработная для каждого из этих работников.

1) Для машиниста автокрана: 100000 руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%CC%E0%F8%E8%ED%E8%F1%F2+%E0%E2%F2%EE%EA%F0%E0%ED%E0/>

2) Для водителя автомобиля: 70000 руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%C2%EE%E4%E8%F2%E5%EB%FC/?employment%5B%5D=24hours&employment%5B%5D=shift>

3) Для стропальщика: 65000 руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%D1%F2%F0%EE%EF%E0%EB%FC%F9%E8%EA/?employment%5B%5D=24hours&employment%5B%5D=shift>

4) Для машиниста крана: 78000 руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%CC%E0%F8%E8%ED%E8%F1%F2+%EA%F0%E0%ED%E0/>

5) Для машиниста автогидроподъемника: 90000 руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%CC%E0%F8%E8%ED%E8%F1%F2+%E0%E2%F2%EE%E2%FB%F8%EA%E8/>

6) Для монтажника металлоконструкций: 100000 руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%CC%EE%ED%F2%E0%E6%ED%E8%EA+%EC%E5%F2%E0%EB%EB%EE%EA%EE%ED%F1%F2%F0%F3%EA%F6%E8%E9/>

7) Для электросварщика ручной сварки: 120000 руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%DD%EB%E5%EA%F2%F0%EE%F1%E2%E0%F0%F9%E8%EA/?query=%FD%EB%E5%EA%F2%F0%E%F1%E2%E0%F0%F9%E8%EA+%F0%F3%F7%ED%EE%E9+%F1%E2%E0%F0%EA%E8>

8) Для изолировщика на гидроизоляции: 80000 руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%C8%E7%EE%EB%E8%F0%EE%E2%F9%E8%EA/?query=%E8%E7%EE%EB%E8%F0%EE%E2%F9%E8%EA+%ED%E0+%E3%E8%E4%F0%EE%E8%E7%EE%EB%FF%F6%E8%E8>

9) Для слесаря строительного: 58000руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%D1%EB%E5%F1%E0%F0%FC/?query=%F1%EB%E5%F1%E0%F0%FC+%F1%F2%F0%EE%E8%F2%E5%EB%FC%ED%FB%E9>

10) Сотрудник аварийно-ремонтной службы: 70000 руб.

Источник заработной платы:

<https://www.farpost.ru/vladivostok/job/vacancy/+/%CC%E0%F1%F2%E5%F0+%E0%E2%E0%F0%E8%E9%ED%EE%F0%E5%EC%EE%ED%F2%ED%EE%E9+%F1%EB%F3%E6%E1%FB/>

Специальности и стоимости работ, производимых по ремонту резервуара РВСП-3000 исходя из заработной платы за 14 дней, представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Специальности и стоимости работ, производимых по ремонту резервуара РВСП-3000 исходя из заработной платы за 14 дней

Специальность	Количество	Ставка за час работы, руб.	Оклад за период ремонта руб.	Районный коэффициент 20% от оклада, руб.	Северная надбавка 30% от оклада, руб.	Итого на одного работника, руб.	Фонд заработной платы, руб.
Машинист автокрана	1	222	31080	6216	9324	46620	46620
Водитель автомобиля	2	156	21840	4368	6552	32760	65520
Стропальщик	4	144	20160	4032	6048	30240	120960
Машинист крана	1	173	24220	4844	7266	36330	36330
Машинист автогидроподъемника	1	200	28000	5600	8400	42000	42000
Монтажник металлоконструкций	6	222	31080	6216	9324	46620	279720
Электросварщик ручной сварки	6	266	37240	7448	11172	55860	335160
Изолировщик на гидроизоляции	3	177	24780	4956	7434	37170	111510
Слесарь строительный	1	128	17920	3584	5376	26880	26880
Сотрудник аварийно-технической группы	8	155	21700	4340	6510	32550	260400
Итого:	х	х	х	х	х	х	1325100

Затраты на страховые взносы и взносы на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Затраты на страховые взносы и взносы на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний

Показатель	Сумма затрат, руб.
Страховые взносы	397530
Взносы на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний	5300,4
Итого:	402830,4

6.3 Аренда и покупка строительной техники

Как было сказано ранее, для ремонта резервуара РВСП-3000 необходима строительная техника.

Стоимость аренды для определенного вида машины на срок 14 дней (140 ч) представлена в таблице 19.

Таблица 19 – Стоимость аренды для каждого вида машины на срок 14 дней (140 ч)

Наименование	Количество	Цена аренды за час	Стоимость аренды на весь срок работ, руб.	Источник цен
Автомобиль бортовой	1	1000	140000	https://perevozka24.ru/gruzoperevozki/primorskiy-kray/vladivostok/bortovoj
Кран на автомобильном ходу	1	1500	210000	https://vladivostok.spcteh.ru/arenda/avtokrany/
Кран на гусеничном ходу	1	1000	140000	http://vladivostok.regorg.ru/goods/arenda-gusenichnogo-krana/
Автогидроподъемник	1	900	126000	https://vladivostok.spcteh.ru/arenda/avtovyshki/
Агрегат сварочный	6	900	756000	https://vladivostok.blizko.ru/predlconstruction/equipment/rent/ruchnoy
Итого:	x	x	1372000	x

Стоимость покупки для определенного вида машины на срок 14 дней (140 ч) представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Стоимость покупки для каждого вида машины на срок 14 дней (140 ч)

Наименование	Количество	Стоимость покупки	Стоимость покупки на весь срок работ, руб.	Источник цен
Домкрат гидравлический	8	2209,90	17679,2	https://vladivostok.pulscen.ru/price/161113-domkraty/f:31012_12-t&31595_ghidravlicheskii
Печь для прокаливания флюсов и электродов	3	16980	50940	http://vladivostok.regorg.ru/goods/pechi-dlya-sushki-prokalki-elektrodov/
Машинка шлифовальная	6	3731	22386	http://vladivostok.regorg.ru/goods/arenda-gusenichnogo-krana/
Газопламенный резак	1	2770	2770	https://vladivostok.yavitrina.ru/apparaty-gazoplamennye-rezaki
Итого:	х	х	93775,2	х

6.4 Затраты на покупку строительных материалов и возведение нового днища

Определим, сколько электродов необходимо для наплавки следующих дефектов с предварительной зачисткой. Все принятые электроды имеют одну марку УОНИ-13/55.

Коррозионное повреждение основного металла стенки:

- 1) глубиной 1,8 мм площадью 0,0084 м²: 7 электродов диаметром 4 мм длиной 450 мм;
- 2) глубиной 2,3 мм площадью 0,0095 м²: 7 электродов диаметром 4 мм длиной 450 мм;

- 3) глубиной 2,1 мм площадью 0,0056 м²: 5 электродов диаметром 4 мм длиной 450 мм;
- 4) глубиной 1,6 мм площадью 0,0072 м²: 6 электродов диаметром 4 мм длиной 450 мм;
- 5) глубиной 1,8 мм площадью 0,0043 м²: 4 электрода диаметром 4 мм длиной 450 мм;
- 6) глубиной 1,7 мм площадью 0,0068 м²: 5 электродов диаметром 4 мм длиной 450 мм;
- 7) глубиной 1,3 мм площадью 0,0054 м²: 5 электродов диаметром 3 мм длиной 350 мм;
- 8) глубиной 0,5 мм площадью 0,0047 м²: 5 электродов диаметром 2 мм длиной 350 мм;
- 9) глубиной 0,6 мм площадью 0,0039 м²: 4 электрода диаметром 2 мм длиной 350 мм;
- 10) глубиной 0,4 мм площадью 0,0052 м²: 5 электродов диаметром 2 мм длиной 350 мм.

Царапина основного металла стенки длиной 217 мм и глубиной 1,4 мм: 1 электрод диаметром 3 мм длиной 350 мм;

Царапина основного металла крыши длиной 92 мм и глубиной 0,7 мм: 1 электрод диаметром 3 мм длиной 350 мм;

Неравномерная ширина шва в патрубке дыхательного клапана: 2 электрода диаметром 4 мм длиной 450 мм;

Продольная трещина в сварном шве стенки длиной 185 мм и глубиной до 2,3 мм: 2 электрода диаметром 4 мм длиной 450 мм;

Поверхностная пора в сварном шве глубиной до 2,4 мм: 1 электрод диаметром 4 мм длиной 450 мм;

Свищи в патрубке люка-лаза: 6 электродов диаметром 4 мм длиной 450 мм.

Диаметр и длина электродов были выбраны с учетом того, что глубина механической обработки должна составлять не более 50% глубины всего

изделия, при этом зачистка происходит до глубины не менее 1 мм от дна дефектного участка, а также после наплавки допускается увеличение толщины стенки не более 1 мм.

Для изготовления днища требуются следующие материалы: листы толщиной 8 мм марки стали 09Г2С стоимостью 31680 руб. за один лист (источник: <https://krasnoyarsk.pulscen.ru/search/price?q>) в количестве 39 листов (включая кольцевые окрайки); электроды диаметром 5 мм длиной 450 мм на создание горизонтальных швов длиной 138 м и вертикальных швов длиной 27 м, а также сварного соединения кольцевых окراек с центральной частью днища длиной 96 м (за длину сварного соединения кольцевых окраек с центральной частью днища была принята удвоенная длина развертки резервуара, поскольку данное соединение является нахлесточным). По формулам (35), (36) и (37) вычислим необходимое количество электродов для создания горизонтальных и вертикальных швов, и нахлесточного соединения днища резервуара РВСП-3000.

$$n_2 = \frac{l_2}{d_3}, \quad (35)$$

где l_2 – общая длина горизонтальных швов днища, $l_2 = 138$ м;
 d_3 – длина электрода, $d_3 = 0,45$ м.

$$n_8 = \frac{l_8}{d_3}, \quad (36)$$

где l_8 – общая длина горизонтальных швов днища, $l_8 = 27$ м;
 d_3 – то же, что и в формуле (35);

$$n_n = \frac{l_n}{d_3}, \quad (37)$$

где l_n – общая длина нахлесточных швов днища, $l_n = 96$ м;

d_3 – то же, что и в формуле (35).

Рассчитаем необходимое количество электродов на создание горизонтальных, вертикальных и нахлесточных швов днища резервуара РВСП-3000

$$n_2 = \frac{138}{0,45} = 307 \text{ шт.};$$

$$n_6 = \frac{27}{0,45} = 60 \text{ шт.};$$

$$n_2 = \frac{96}{0,45} = 213 \text{ шт.}$$

Днище резервуара, а именно, его кольцевые крайки необходимо сварить с первым поясом стенки. Данное сварное соединение является тавровым, поэтому за длину сварного соединения также примем удвоенную длину развертки (96 м), соответственно, при электродах диаметром 5 мм длиной 450 мм необходимое количество таких электродов составит 213 штук.

Итого имеем: 14 электродов диаметром 2 мм длиной 350 мм; 7 электродов диаметром 3 мм длиной 350 мм; 832 электрода диаметром 4 мм длиной 450 мм (при том, что 580 из них будут использованы на строительство днища, а остальные 252 на сварку днища с первым поясом стенки и устранение поверхностных дефектов резервуара).

Стоимость 1 кг электродов марки УОНИ-13/55 составляет 104,4 руб. с НДС (источник: https://lpe.penzaelektrod.ru/?utm_source=yandex&utm_medium

[=cpc&utm_campaign=poisk_krasnoyarsk&utm_content](#)). Средняя упаковка на электроды диаметром 4 мм длиной 450 мм составляет 2,5 кг с содержанием 42 шт. в одной упаковке. Упаковка на электроды диаметром 3 мм длиной 350 мм составляет 1 кг с содержанием 40 шт. в одной упаковке. Упаковка на электроды диаметром 2 мм длиной 350 мм составляет 1 кг с содержанием 98 шт. в одной упаковке. Следовательно, электроды диаметром 4 мм длиной 450 мм в количестве 252 шт. и 580 шт. будут иметь стоимость, равную, соответственно, 1566 руб. и 3604 руб., электроды диаметром 3 мм длиной 350 мм в количестве 7 шт. – 18 руб., электроды диаметром 2 мм длиной 350 мм в количестве 14 шт. – 15 рублей. Итого стоимость всех электродов, необходимых на сварку днища с первым поясом стенки и устранение поверхностных дефектов резервуара РВСП-3000 составляет 1599 рублей.

Стоимость затрат на строительство нового днища найдем по формуле (37).

$$C_{\text{дн}} = C_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} + C_{\text{э}}, \quad (37)$$

где $C_{\text{л}}$ – цена одного листа, $C_{\text{дн}} = 31680$ руб.;

$n_{\text{л}}$ – количество листов, $n_{\text{л}} = 39$ шт.;

$C_{\text{э}}$ – цена электродов на изготовление нового днища, $C_{\text{э}} = 3604$ руб.

Рассчитаем общую стоимость затрат на строительство нового днища

$$C_{\text{дн}} = 31680 \cdot 39 + 3604 = 1239124 \text{ руб.}$$

Далее рассчитаем сколько необходимо материалов на создание нового гидрофобного слоя на основание резервуара. Данный слой состоит на 90 % из супесчаного грунта и на 10 % из жидкого битума и составляет объем 12,6623 м³. Значит необходимый объем супесчаного грунта составляет 11,39607 м³, а жидкого битума – 1,26623 м³. Стоимость 1 л жидкого битума

составляет 154 руб. (источник: <https://vladivostok.tiu.ru/Bitum-zhidkij.html>), а стоимость 1 м³ супесчаного грунта составляет 150 руб. (Источник: https://vladivostok.pulscen.ru/products/grunt_peschany_supeschany_71156238).

По формуле (38) определим сколько денежных затрат необходимо на покупку супесчаного грунта:

$$C_{cz} = V_{cz} \cdot C_{1kg\ cz}, \quad (38)$$

где V_{cz} – объем супесчаного грунта, $V_{cz} = 11,39607$ м³;

$C_{1kg\ cz}$ – цена 1 кг супесчаного грунта, $C_{1kg\ cz} = 150$ руб.;

Цена полного объема супесчаного грунта составит

$$C_{cz} = 11,39607 \cdot 150 = 1709,41 \text{ руб.}$$

По формуле (39) определим сколько денежных затрат необходимо на покупку жидкого битума:

$$C_{жб} = V_{жб} \cdot C_{1л\ жб}, \quad (39)$$

где $V_{жб}$ – объем жидкого битума, $V_{жб} = 1,226623$ м³ = 1266,23 л;

$C_{1л\ жб}$ – цена 1 л жидкого битума, $C_{жб} = 154$ руб.;

Цена полного объема жидкого битума составит

$$C_{жб} = 1266,23 \cdot 154 = 194999,42 \text{ руб.}$$

Стоимость общего объема гидрофобного слоя составит сумму стоимости супесчаного грунта и жидкого битума, т. е. 196708,83 рубля.

6.5 Подсчет общих затрат на проведение ремонта резервуара РВСП-3000

В таблице 21 представлены затраты, необходимые для проведения ремонта резервуара РВСП-3000 и общая стоимость этих затрат.

Таблица 21 – Затраты, необходимые для проведения ремонта резервуара РВСП-3000 и общая стоимость этих затрат

Источник затрат	Стоимость затрат, руб.
Зарплаты рабочим	1325100
Страховые взносы и взносы на страхование от несчастных случаев	402830,4
Аренда технологического оборудования	1372000
Покупка технологического оборудования	93775,2
Приобретение электродов на устранение дефектов и сварку днища со стенкой	1599
Возведение нового днища	1239124
Возведение нового гидрофобного слоя	196708,83
Итого:	4631137,43

В то время как сооружение нового резервуара составляет 8100000 руб. (источник: <https://cheboksari.promportal.su/goods/23754624/rezervuarvertikalniy-stalnoy-rvs-3000m3.htm>), стоимость проведения ремонта составит 4631137,43 руб., т. е. почти в два раза меньше, чем сооружение нового резервуара. Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что для обеспечения безопасной эксплуатации резервуара на срок от 10 лет экономически более выгодно провести ремонтно-восстановительные работы, чем возвести новый резервуар.

Данное сравнение по стоимости ремонта резервуара РВСП-3000 и возведения нового резервуара, а также сравнение долей отдельных видов затрат с общей стоимостью всех затрат приведены в диаграммах на плакате экономической части выпускной квалификационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была произведена оценка ремонтпригодности резервуара РВСП-3000 по результатам технического диагностирования и предложены методы ремонта, позволяющие обеспечить срок безопасной эксплуатации резервуара не менее 10 лет.

Произведены расчеты на прочность и устойчивость стенки резервуара, произведен расчет резервуара на опрокидывание и определение контурного давления на фундамент.

Рассмотрены вредные и опасные производственные факторы и предложены методы по сокращению риска на период проведения ремонтных работ.

Рассчитаны затраты на проведение ремонта резервуара РВСП-3000 и произведено сравнение этих затрат с затратами на строительство нового резервуара.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ВИК – Визуально-измерительный контроль;
- ВСН – Ведомственные строительные нормы;
- ГОСТ – Государственный стандарт;
- ГОСТ Р – Государственный стандарт Российский;
- ЛКМ – Лакокрасочный материал;
- НДС – Налог на добавленную стоимость;
- ПБ – Пожарная безопасность;
- ПДК – Предельно допустимая концентрация;
- РД – Руководящий документ;
- РВС – Резервуар вертикальный стальной;
- РВСП – Резервуар вертикальный стальной с понтоном;
- РВСПК – Резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей;
- СИЗ – Средства индивидуальной защиты;
- СНиП – Строительные нормы и правила;
- СО – Стандарт организации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 РД 34.10.130 – 96 Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – Введ. 15.08.1996. – Москва : Аттестационный научно-технический центр «Энергомонтаж», 1996. – 38 с.

2 Общие и местные деформации (вмятины, выпучины) на конструкциях [Электронный ресурс] : статья // Студенческая библиотека онлайн. – Режим доступа:

https://studbooks.net/1676043/tovarovedenie/obschie_mestnye_deformatsii_vmyatin_y_vypuchiny_konstruktsiyah.

3 РД 34.21.526 – 95 Типовая инструкция по эксплуатации металлических резервуаров для хранения жидкого топлива и горячей воды. Строительные конструкции. – Введ. 01.09.1995. – Москва : Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России», 1995. – 22 с.

4 ВСН 311 – 89 Монтаж стальных вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов объемом от 100 до 50000 м³. Введ. 01.01.1990. – Москва : Минмонтажспецстрой СССР, 1990. – 27 с.

5 РД 08-95 – 95 Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Введ. 01.09.1995. Москва : Госгортехнадзор России, 1995. – 9 с.

6 РД 133-112-017 – 97 Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров. Введ. 01.07.1997. – Уфа : ЗАО «Нефтемонтаждиагностика», 1997. – 74 с.

7 ГОСТ 14782 – 86 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Введ. 01.01.1988. Москва : Стандартиформ, 1988. – 27 с.

8 ГОСТ Р 55724 – 2013 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. Введ. 08.10.2013. – Москва : Стандартиформ, 2013. – 31 с.

9 ГОСТ 31385 – 2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Введ. 28.06.2016. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 97 с.

10 ПБ 03-605 – 03 Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Введ. 21.06.2003. – Москва : Госгортехнадзор России, 2003. – 52 с.

11 СНиП 2.01.07 – 85 Нагрузки и воздействия. Введ. 01.01.1987. Москва : Государственный комитет СССР по делам строительства, 2003. – 31 с.

12 СНиП II-23 – 81 Стальные конструкции. Введ. 01.01.1982. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 1990. – 74 с.

13 СО 02-04-АКТНП-007 – 2006. Правила технической эксплуатации, диагностирования и ремонта стальных вертикальных резервуаров ОАО «АК «Транснефтепродукт». Введ. 29.01.2007. – Москва : ОАО «АК «Транснефтепродукт», 2007. – 147 с.

14 Ремонт днища резервуара [Электронный ресурс] : статья // Информационный сайт предприятия «Газэнергохим». – Режим доступа: <https://www.gazenergohim.ru/articles/326/>.

15 Ремонт хлопунов днища [Электронный ресурс] : статья // Сайт «Хелпикс.Орг». – Режим доступа: <https://helpiks.org/3-686.html>.

16 Правила технической эксплуатации резервуаров ОАО «НК «Роснефть», 2004. Введ. 28.01.2004. – Москва : Акционерное общество «НК «Роснефть», 2004. – 64 с.

17 Профессиональная защита резервуаров от коррозии [Электронный ресурс] : статья // Информационный сайт предприятия «Резервуаростроитель». – Режим доступа: <https://r-stroitel.ru/construction/antikorroziionnaja-obrabotka/>.

18 Лакокрасочные материалы (ЛКМ) [Электронный ресурс] : статья // Информационный портал «Все о коррозии». – Режим доступа: <https://www.okorrozii.com/lkm.html>.

19 Порошковые краски: виды и свойства [Электронный ресурс] : статья // Информационный сайт «Краски строй» – Режим доступа: <https://kraskistroi.ru/vidy-krasok/poroshkovaya-kraska.html#i-2>.

20 Виды антикоррозионных покрытий [Электронный ресурс] : статья // Информационный сайт «Terazinc» – Режим доступа: https://terazinc.ru/antikorroziynie_pokritiya_sostavyi/vidyi_antikorroziynih_pokritiy_metallicheskie/.

21 Коррозия металлов и способы защиты от нее [Электронный ресурс] : статья // Информационный сайт «Blasting Service» – Режим доступа: <https://blastingservice.ru/services/udalenie-kraski/korroziya-metallov/>.

22 Ингибиторы коррозии [Электронный ресурс] : статья // Информационный портал «Все о коррозии». – Режим доступа: <https://www.okorrozii.com/ingibitor-korrozii.html>.

23 Деаэрация: [Электронный ресурс] : статья // Информационный портал «Все о коррозии». – Режим доступа: <https://www.okorrozii.com/deaeratsiya.html>.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра проектирования и эксплуатации газонефтепроводов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

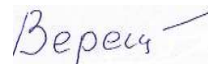
 /А.Н. Сокольников

«23» июня 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Оценка ремонтпригодности резервуара типа РВСП-3000 для хранения
нефтепродуктов перевалочной нефтебазы в районе г. Владивосток

Руководитель  19.06.20 канд. техн. наук, доцент В.И. Верещагин

Выпускник  18.06.20

И.С. Кузнецов

Красноярск 2020

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме: «Оценка ремонтпригодности резервуара типа РВСП-3000 для хранения нефтепродуктов перевалочной нефтебазы в районе г. Владивосток».

Консультанты по
разделам:

Экономическая часть



И.В. Шадрина

Безопасность жизнедеятельности



А.Н. Минкин

Нормоконтролер



О.Н. Петров

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Оценка ремонтпригодности резервуара типа РВСП-3000 для хранения нефтепродуктов перевалочной нефтебазы в районе г. Владивосток» содержит 79 страниц текстового документа, 23 использованных источника, 6 листов графического материала.

РЕЗЕРВУАР ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТАЛЬНОЙ С ПОНТОНОМ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ, ДЕФЕКТ, РЕМОНТ.

Объект ВКР: Резервуар вертикальный стальной с понтоном объемом 3000 м³ для хранения нефтепродуктов перевалочной нефтебазы, расположенной в районе г. Владивосток.

Цель ВКР: по результатам технического диагностирования выявить дефекты, снижающие эксплуатационную надежность резервуара.

Для решения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить классификацию резервуаров и их устройство;
- произвести оценку ремонтпригодности рассматриваемого резервуара по результатам технического диагностирования;
- произвести расчеты на прочность и устойчивость стенки резервуара, расчет резервуара на опрокидывание и определение контурного давления на фундамент;
- предложить ремонтно-восстановительные работы рассматриваемого резервуара.

В выпускной квалификационной работе проводится оценка ремонтпригодности резервуара по результатам технического диагностирования, на основании данного диагностирования предлагаются ремонтно-восстановительные работы, а также производятся расчеты на прочность и устойчивость стенки резервуара, а также расчет нагрузок на основание данного объекта.

В технологической части выпускной квалификационной работы представлено описание ремонта поврежденных строительных конструкций на основе результатов диагностики, выполнены расчеты на прочность и устойчивость стенки, выполнен расчет резервуара на опрокидывание и определение контурного давления на фундамент, и даны рекомендации на увеличение срока безопасной эксплуатации резервуара.

В разделе «Безопасность и экологичность проекта» решены вопросы по обеспечению безопасности жизнедеятельности, пожарной и взрывопожарной безопасности, предусмотрены мероприятия по охране труда, а также приведены правила по ликвидации отходов и устранению загрязняющих веществ.

В экономической части работы выполнен расчет затрат на ремонт данного резервуара по итогам диагностирования и произведено сравнение этих затрат со стоимостью сооружения нового резервуара.