



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

ООП/ОПОП «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»

Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА**

| Тема работы  |
|--|
| Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров |

УДК 622.692.23-025.71-034.14

| Обучающийся |                            |         |      |
|-------------|----------------------------|---------|------|
| Группа      | ФИО                        | Подпись | Дата |
| ЗБМ12       | Ахметова Мадина Галгатовна |         |      |

| Руководитель ВКР |               |                        |         |      |
|------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Должность        | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| доцент ОНД       | Чухарева Н.В. | К.Х.Н.                 |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность     | ФИО       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|-----------|------------------------|---------|------|
| профессор ОНД | Шарф И.В. | Д.Э.Н.                 |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность  | ФИО        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|------------|------------------------|---------|------|
| доцент ООД | Сечин А.А. | К.Т.Н.                 |         |      |

Консультант - лингвист

| Должность       | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|-------------|------------------------|---------|------|
| доцент ОИЯ ШБИП | Айкина Т.Ю. | К.Ф.Н.                 |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель ООП/ОПОП, должность | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| профессор ОНД                    | Шадрина А.В. | Д.Т.Н.                 |         |      |

Томск – 2023 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

### 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

| <i>Код<br/>результата</i>   | <i>Результат обучения<br/>(выпускник должен быть готов)</i>   | <i>Требования ФГОС,<br/>критериев и/или<br/>заинтересованных<br/>сторон</i> |
|---|---|---|
| <b>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</b> |   |   |
| <b>Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»</b>                             |   |   |
| УК(У)-1   | Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий  | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| УК(У)-2   | Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла   | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| УК(У)-3   | Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели  | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| УК(У)-4   | Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия  | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| УК(У)-5   | Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия  | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| УК(У)-6   | Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки   | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| ОПК(У)-1  | Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в нефтегазовой области   | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| ОПК(У)-2  | Способен осуществлять проектирование объектов нефтегазового производства  | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| ОПК(У)-3  | Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии  | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| ОПК(У)-4  | Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности   | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| ОПК(У)-5  | Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в нефтегазовой отрасли и смежных областях | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ   |
| ОПК(У)-6  | Способен участвовать в реализации основных и дополнительных профессиональных образовательных программ, используя специальные научные и профессиональные знания                                    | Требования ФГОС ВО,<br>СУОС ТПУ<br>Профстандарт:<br>01.004                  |
| <b>Специализация «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»</b>   |   |   |
| ПК(У)-1   | Способность разрабатывать учебно-методическое обеспечение программ профессионального обучения, а также реализовывать их   | Требования ФГОС<br>ВО, СУОС ТПУ<br>Профстандарт:<br>01.004                  |

|                           |   |   |
|---------------------------|---|---|
| ПК(У)-2                   | Способность анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами в нефтегазовой отрасли                                  | <i>Требования ФГОС ВО,<br/>СУОС ТПУ<br/>Профстандарты:<br/>19.010, 19.026, 19.055</i> |
| <i>Код<br/>результата</i> | <i>Результат обучения<br/>(выпускник должен быть готов)</i>   | <i>Требования ФГОС,<br/>критериев и/или<br/>заинтересованных<br/>сторон</i>           |
| ПК(У)-3                   | Способность оценивать экономическую эффективность инновационных решений в области трубопроводного транспорта углеводородов  | <i>Требования ФГОС ВО,<br/>СУОС ТПУ<br/>Профстандарты:<br/>19.010, 19.026, 19.055</i> |
| ПК(У)-4                   | Способность обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли  | <i>Требования ФГОС ВО,<br/>СУОС ТПУ<br/>Профстандарты:<br/>19.010, 19.026, 19.055</i> |
| ПК(У)-5                   | Способность участвовать в управлении технологическими комплексами, принимать решения в условиях неопределенности  | <i>Требования ФГОС ВО,<br/>СУОС ТПУ<br/>Профстандарты:<br/>19.010, 19.026, 19.055</i> |
| ПК(У)-6                   | Способность применять полученные знания для разработки и реализации проектов, различных процессов производственной деятельности на основе методики проектирования в нефтегазовой отрасли, а также инструктивно-нормативных документов | <i>Требования ФГОС ВО,<br/>СУОС ТПУ<br/>Профстандарты:<br/>19.010, 19.026, 19.055</i> |
| ПК(У)-7                   | Способность применять современные программные комплексы для проектирования технических устройств, аппаратов и механизмов, технологических процессов в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности                   | <i>Требования ФГОС ВО,<br/>СУОС ТПУ<br/>Профстандарты:<br/>19.010, 19.026, 19.055</i> |



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
Профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»  
Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП ОНД ИШПР

\_\_\_\_\_ Шадрина А.В.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

\_\_\_\_\_ магистерской диссертации

Студенту:

| Группа | ФИО                         |
|--------|-----------------------------|
| 2БМ12  | Ахметовой Мадине Талгатовне |

Тема работы:

|  |                        |
|--|------------------------|
| Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров |                        |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)  | №37-60/с от 06.02.2023 |

|  |  |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|--|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Исходные данные к работе | Резервуар находится в  |
|--------------------------|---|

|  |  |
|--|--|
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов   | Оценить техническое состояние РВС методом трехмерного лазерного сканирования; при помощи геодезического обследования провести исследование изменения местоположения контрольных точек; рассмотреть методы математического моделирования, позволяющие определять и прогнозировать изменение напряженно-деформированного состояния объектов; определить опасные производственные факторы; разработать систему компенсации нагрузки на эксплуатируемый резервуар. |
| Перечень графического материала  | Рисунки, схемы, таблицы  |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы   |  |
| Раздел   | Консультант  |
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»  | Шарф И.В, профессор ОНД  |
| «Социальная ответственность»   | Сечин А.А., доцент ООД   |
| Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШПИБ   | Айкина Т.Ю., доцент ОИЯ ШБИП   |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: выполнен литературный обзор на базе англоязычных источников на тему – Development of proposals for compensating the loads of the vertical steel tank RVS-10000 cubic meters |  |

|  |  |
|--|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику |  |
|--|--|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность  | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|---------------|------------------------|---------|------|
| доцент ОНД | Чухарева Н.В. | к.х.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                        | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 2БМ12  | Ахметова Мадина Талгатовна |         |      |



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
Уровень образования магистратура  
Отделение нефтегазового дела  
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)                       | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 01.02.2023    | <i>Введение</i>   | 5                                  |
| 14.02.2023    | <i>Обзор литературы</i>   | 15                                 |
| 18.02.2023    | <i>Методы исследования напряженно-деформированного состояния резервуара</i> | 8                                  |
| 20.02.2023    | <i>Характеристика местоположения объекта исследования</i>                   | 5                                  |
| 28.02.2023    | <i>Методика 3D сканирования</i>   | 6                                  |
| 04.03.2023    | <i>Расчёты и технологическая часть</i>                                      | 13                                 |
| 12.04.2023    | <i>Расчёт НДС резервуара</i>  | 15                                 |
| 11.05.2023    | <i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>      | 9                                  |
| 11.05.2023    | <i>Социальная ответственность</i>   | 9                                  |
| 17.05.2023    | <i>Заключение</i>   | 6                                  |
| 04.06.2023    | <i>Презентация</i>  | 9                                  |
|               | <i>Итого</i>  | 100                                |

Составил преподаватель:

| Должность  | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|---------------|------------------------|---------|------|
| доцент ОНД | Н.В. Чухарева | к.х.н.                 |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

| Должность     | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|--------------|------------------------|---------|------|
| профессор ОНД | А.В. Шадрина | д.т.н.                 |         |      |

## Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Нефтяной резервуар:** Искусственно созданная ёмкость для хранения нефти и продуктов её переработки.

**Осадка грунта:** Понижение поверхности грунта в основании сооружения.

**Авария:** Разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ.

**Работоспособность резервуара:** Состояние, при котором резервуар способен выполнять свои функции без отклонений от параметров, установленных требованиями технической документации. Для поддержания работоспособности резервуара необходимо выполнять в установленные сроки текущие и капитальные ремонты, а также осуществлять профилактику и раннюю диагностику дефектов.

**Надежность:** Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания.

**Безотказность работы резервуара.** Свойство резервуара и его элементов сохранять работоспособность без вынужденных перерывов в работе. Вероятность безотказной работы служит количественным показателем надежности (критерий прочности, устойчивости и выносливости).

**Долговечность резервуара и его элементов:** Свойство конструкции сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Показателем долговечности может служить ресурс или срок службы.

|            |      |               |         |      |   |      |        |
|------------|------|---------------|---------|------|---|------|--------|
|            |      |               |         |      | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |      |        |
| Изм.       | Лист | № докум.      | Подпись | Дата |   |      |        |
| Разраб.    |      | Ахметова М.Т. |         |      | Лит.  | Лист | Листов |
| Руковод.   |      | Чухарева Н.В. |         |      |   | 7    | 145    |
| Рук-ль ООП |      | Шадрина А.В.  |         |      | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12  |      |        |
|            |      |               |         |      |   |      |        |
|            |      |               |         |      | <b>Термины и определения,<br/>сокращения, нормативные<br/>ссылки</b>  |      |        |

**Воздействие деформационное (кинематическое):** воздействие на резервуар в виде перемещения, например, неравномерная осадка опор, смещение точек присоединения к оборудованию и т.д., измеряется в миллиметрах, градусах и т.д.

**Нагрузка:** силовое воздействие, вызывающее изменение напряженно-деформированного состояния трубопровода.

**Предел прочности (временное сопротивление):** нормативное минимальное значение напряжения, при котором происходит разрушение материала при растяжении.

**Предел текучести:** нормативное минимальное значение напряжения, с которого начинается интенсивный рост пластических деформаций при растяжении материала.

**Неразрушающий контроль:** Методы контроля, при которым в некоторых случаях нет необходимости остановки рабочего процесса объекта контроля. Контроль производится непосредственно на объекте, при этом контролируемый объект сохраняет работоспособность без повреждения участка контроля.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Термины и определения, сокращения,<br>нормативные ссылки | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 8    |

## Сокращения

**РВС** — резервуар вертикальный стальной;

**РВСП** — резервуар вертикальный стальной со стационарной крышей и с понтонами;

**РВСПК** — резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей;

**РП** — резервуарный парк;

**ОПО** — опасный производственный объект;

**НК** — неразрушающий контроль;

**НДС** — напряженно-деформированное состояние;

**ПИН** — площадка измерения напряжений;

**ПС** — программные средства;

**УЗК** — ультразвуковой контроль;

**КМ** — рабочие чертежи металлических конструкций;

**КМД** — детализованные чертежи металлических конструкций;

**ППР** — проект производства монтажно-сварочных работ;

**МКЭ** — метод конечных элементов.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Термины и определения, сокращения,<br>нормативные ссылки | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 9    |

## Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 53324-2009. Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности.

ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения.

ГОСТ 25.504-82 Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости.

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация

ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ГОСТ 17.1.3.06-82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

ГОСТ 12.3.002-75. ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

ОСТ 26.260.758-2003. Конструкции металлические. Общие технические требования.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Термины и определения, сокращения,<br>нормативные ссылки | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 10   |

РД 51-100-85. Руководство по нормированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на объектах транспорта и хранения газа.

РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 м<sup>3</sup>.

РД 153-112-017-97. Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров.

РД 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

СТО Газпром 2-2.3-328-2009 Методика оценки технического состояния и целостности газопроводов.

СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии.

СП 16.13330.2011. Свод правил. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*.

СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.

СП 155.13130.2014 (СНиП 2.11.03-93). Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

Федеральный закон от 28.12.2013 №426 – ФЗ о специальной оценке условий труда.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Термины и определения, сокращения,<br>нормативные ссылки | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 11   |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 145 страниц, 30 рисунков, 33 таблицы, 27 источников цитируемой литературы.

*Ключевые слова:* резервуар, местоположение, грунт, деформация, внешние нагрузки, напряженно-деформированное состояние, моделирование, методы инженерного анализа, эксплуатация, безопасность.

*Объектом исследования является:* резервуар вертикальный стальной 10000 м<sup>3</sup>.

*Цель работы:* является определения степени отклонения геометрических параметров эксплуатируемого резервуара вертикального стального типа РВС-10000 м<sup>3</sup> от установленного методом 3D-сканирования, разработка предложения по компенсации нагрузки в максимально напряженно-деформируемом участке.

*В процессе исследования были проведены:* оценка технического состояния РВС методом трехмерного лазерного сканирования; при помощи геодезического обследования проведено исследование изменения местоположения контрольных точек; рассмотрены методы математического моделирования, позволяющие определять и прогнозировать изменение напряженно-деформированного состояния объектов; определены опасные производственные факторы; разработано предложение по компенсации нагрузки резервуара.

*В результате исследования:* были рассмотрены правила эксплуатации резервуара; проанализированы проблемы, возникающие при эксплуатации РВС; проведены расчёты на определение геометрических параметров резервуара; проведена оценка технического состояния РВС методом 3D-сканирования.

*Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:* выявление дефектных мест, технология и организация выполнения ремонтных работ, подготовительные работы, монтаж резервуара, сварочно-монтажные работы резервуара, эксплуатационные работы.

|            |      |               |         |      |   |  |      |        |
|------------|------|---------------|---------|------|---|--|------|--------|
|            |      |               |         |      | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |  |      |        |
| Изм.       | Лист | № докум.      | Подпись | Дата |   |  |      |        |
| Разраб.    |      | Ахметова М.Т. |         |      | Реферат   | Лит.   | Лист | Листов |
| Руковод.   |      | Чухарева Н.В. |         |      |   |  | 12   | 145    |
| Рук-ль ООП |      | Шадрина А.В.  |         |      |   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |      |        |
|            |      |               |         |      |   |  |      |        |

*Область применения:* технология проведения оценки напряженно-деформированного состояния предназначена для продления срока службы резервуаров вертикальных стальных типа РВС 10000 м<sup>3</sup>, нефтегазовая промышленность.

|      |      |          |         |      |         |      |
|------|------|----------|---------|------|---------|------|
|      |      |          |         |      | Реферат | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |         | 13   |

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Введение .....   | 16 |
| 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗЕРВУАРОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ..... | 18 |
| 1.1 Виды резервуаров .....   | 19 |
| 1.2 Производство резервуаров .....   | 21 |
| 1.3 Инженерно-геологические условия монтажа резервуаров вертикальных стальных .....                                  | 23 |
| 1.4 Обслуживание резервуаров .....   | 24 |
| 1.5 Проблемы остаточного ресурса резервуаров вертикальных стальных .....   | 27 |
| 1.6 Анализ аварийности и причин аварий вертикальных стальных резервуаров .....                                       | 28 |
| 1.7 Методы исследования напряженно-деформированного состояния резервуара .....                                       | 33 |
| 2 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗЕРВУАРА ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО ТИПА РВС- 10000 М <sup>3</sup> МЕТОДОМ 3D СКАНИРОВАНИЯ .....       | 47 |
| 2.1 Местоположение объекта исследования .....  | 47 |
| 2.2 Общая характеристика резервуара вертикального стального тип РВС 10000 м <sup>3</sup> .....                       | 50 |
| 2.3 Методика 3D сканирования .....   | 51 |
| 3 РАСЧЕТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....  | 54 |
| 3.1 Резервуар и его размеры .....  | 55 |
| 3.2 Расчёт стенки резервуара .....   | 56 |
| 3.3 Расчёт днища резервуара .....  | 58 |
| 3.4 Расчёт кровли резервуара .....   | 59 |

|                   |             |                      |                |             |   |  |             |               |
|-------------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|---|--|-------------|---------------|
|                   |             |                      |                |             | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |  |             |               |
| <i>Изм.</i>       | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>      | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |   |  |             |               |
| <i>Разраб.</i>    |             | <i>Ахметова М.Т.</i> |                |             | <b>Оглавление</b>   | <i>Лит.</i>                                  | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руковод.</i>   |             | <i>Чухарева Н.В.</i> |                |             |   |  | 14          | 145           |
| <i>Рук-ль ООП</i> |             | <i>Шадрина А.В.</i>  |                |             |   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |             |               |
|                   |             |                      |                |             |   |  |             |               |

|  |     |
|--|-----|
| 4 РАСЧЁТ НДС РЕЗЕРВУАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ANSYS ...   | 62  |
| 5 СИСТЕМА КОМПЕНСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЗЕРВУАРА .....  | 73  |
| 5.1 Состав и основные технические характеристики СКРН .....  | 73  |
| 5.2 Опоры трубопровода .....   | 76  |
| 5.3 Анализ текущего состояния и проблем сильфонных компенсаторов .....   | 79  |
| 5.4 Циклический срок работы сильфонного компенсатора .....   | 83  |
| 5.5 Факторы, влияющие на работу сильфонных компенсаторов .....   | 85  |
| 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....   | 90  |
| 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....  | 90  |
| 6.2 Производственная безопасность .....  | 92  |
| 6.3 Экологическая безопасность .....   | 99  |
| 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....  | 102 |
| 6.5 Расчет количества аварийных выбросов опасных веществ, участвующих в<br>создании поражающих факторов на приемо-раздаточном патрубке резервуара<br>..... | 104 |
| Выводы по разделу .....  | 105 |
| 7 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....   | 107 |
| 7.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....   | 107 |
| 7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции<br>ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....  | 108 |
| 7.3 SWOT – анализ .....  | 110 |
| 7.4 Определение ресурсоэффективности проекта .....   | 124 |
| 7.5 Чистая приведенная стоимость .....   | 127 |
| Вывод по разделу .....   | 128 |
| Список литературных источников .....   | 129 |
| Приложение I .....   | 131 |
| Приложение 2 .....   | 142 |

## Введение

**Актуальность.** Одними из наиболее опасных производственных объектов являются резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов. Большинство из которых эксплуатируются на производстве больше 20 лет. При наступлении техногенного события может быть нанесен ущерб не только эксплуатирующей организации, но и жизни и здоровью людей и экологии. Поэтому, своевременный мониторинг ОПО является важной составляющей успешной деятельности предприятия трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. Все работы, направленные на оценку остаточного ресурса определением изменения напряженно-деформированного состояния всех составляющих резервуаров, является актуальной задачей.

В связи с указанным выше, тема ВКР «Разработка предложений по компенсации нагрузки резервуара типа РВС 10000 кубических метров» актуальна.

**Целью** выпускной квалификационной работы бакалавра является определения степени отклонения геометрических параметров эксплуатируемого от установленного методом 3D-сканирования, разработка предложения по компенсации нагрузки резервуара.

Для реализации цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

- литературный обзор современных методов и средств для оценки напряженно-деформированного состояния по теме ВКР;
- характеристика объекта исследования;
- оценка технического состояния РВС методом трехмерного лазерного сканирования; построение 3D модели резервуара и оценка изменения НДС при помощи ANSYS и разработка предложения по компенсации нагрузки.

**Объект исследования** – технология оценки напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального типа РВС-

|            |      |               |         |      |   |  |      |        |
|------------|------|---------------|---------|------|---|--|------|--------|
|            |      |               |         |      | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |  |      |        |
| Изм.       | Лист | № докум.      | Подпись | Дата |   |  |      |        |
| Разраб.    |      | Ахметова М.Т. |         |      | Введение  | Лит.   | Лист | Листов |
| Руковод.   |      | Чухарева Н.В. |         |      |   |  | 16   | 145    |
| Рук-ль ООП |      | Шадрина А.В.  |         |      |   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |      |        |
|            |      |               |         |      |   |  |      |        |

10000 м<sup>3</sup> для хранения нефти и нефтепродуктов.

**Предмет исследования** – Резервуар вертикальный стальной типа РВС-10000 м<sup>3</sup>.

|      |      |          |         |      |          |      |
|------|------|----------|---------|------|----------|------|
|      |      |          |         |      | Введение | Лист |
|      |      |          |         |      |          | 17   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |          |      |

# 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗЕРВУАРОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Последние годы показали, что российский рынок нефтедобычи и нефтепереработки растет стремительными темпами, а количество продуктов переработки поставляемых, как на внутренний рынок, так и за рубеж, увеличивается с каждым годом. Увеличение объемов добычи и переработки нефти сопровождается производством нефтегазового оборудования для приема, хранения и транспортировки нефтепродуктов. В состав такого оборудования входят резервуары, которые используются в технологических системах для хранения продуктов переработки. На рисунке 1 показан резервуар вертикальный стальной.



Рисунок 1 – Резервуар вертикальный стальной

Резервуары – это наземное строительное сооружение, предназначенное для приема, хранения, измерения объема и выдачи нефти и нефтепродуктов. Впервые нефтяные резервуары появились в России в 17 веке, т.к. добыча нефти в Баку увеличилась, они представляли собой земляные ямы (резервуары) в

|                   |                      |                 |                |             |   |  |             |               |
|-------------------|----------------------|-----------------|----------------|-------------|---|--|-------------|---------------|
|                   |                      |                 |                |             | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |  |             |               |
| <i>Изм.</i>       | <i>Лист</i>          | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |   |  |             |               |
| <i>Разраб.</i>    | <i>Ахметова М.Т.</i> |                 |                |             | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы              | <i>Лит.</i>                                  | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руковод.</i>   | <i>Чухарева Н.В.</i> |                 |                |             |   |  | 18          | 145           |
| <i>Рук-ль ООП</i> | <i>Шадрина А.В.</i>  |                 |                |             |   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |             |               |
|                   |                      |                 |                |             |   |  |             |               |

глиняном грунте. В 1935 г. впервые в России был сооружен сварной металлический резервуар объемом 1000 м<sup>3</sup>. На данный момент емкость резервуаров, построенных в России, достигает 50000 м<sup>3</sup>, так же ведется работа по созданию резервуара 100000 м<sup>3</sup>.

Резервуары являются обязательными элементами структуры любого нефтеперерабатывающего завода или химического производства.

### 1.1 Виды резервуаров

В таблице 1 рассмотрены основные виды резервуаров и их особенности.

Таблица 1 – Виды резервуаров и их особенности

| Тип   | Назначение  | Особенности   |
|---|---|---|
| Резервуары РВС без понтона со стационарной крышей   | Предназначены для приема, хранения, выдачи нефтепродуктов и воды, а также других жидкостей, в различных климатических условиях. РВС являются обязательными единицами любого нефтеперерабатывающего завода или химического производства.   | Резервуары различаются материалами изготовления, способами размещения и назначением. По расположению выделяют на подземные, надземные, наполовину подземные ёмкости.                                      |
| Резервуары РВСП с понтоном и со стационарной крышей | Резервуары, схожие по конструкции с резервуарами типа РВС, снабжены плавающим понтоном. Понтоны перемещаются по двум направляющим, трубам, одна из которых служит кожухом пробоотборника, снабжены уплотняющим затвором, тщательно заземлены, а другая одновременно используется для ручного отбора проб. | Выпускают резервуары с плоской, конической и сферической крышей. Вертикальные стальные резервуары производят с внутренним объёмом от 100 до 100000 м <sup>3</sup> , при необходимости их объединяют в РП. |
| Резервуары РВСПК с плавающей крышей                 | Является альтернативой резервуарам вертикальным стальным и резервуарам вертикальным стальным с понтоном. Допустимые объемы резервуаров с плавающей крышей от 5000 м <sup>3</sup> и выше   | Плавающие крыши РВСПК бывают двух основных типов: однодечная плавающая крыша и двудечная плавающая крыша. Однодечная плавающая крыша состоит из герметичных кольцевых                                     |

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| Резервуары РВСПК с плавающей крышей |  | <p>коробов, расположенных по периметру крыши, и центральной однослойной мембраны, имеет организованный уклон к центру.</p> <p>Двудечная плавающая крыша может быть выполнена в двух вариантах:</p> <p>а) с радиальным расположением коробов - крыша состоит из коробов прямоугольной формы, располагаемых на плане крыши в радиальном направлении. Пространство между коробами заполняется на монтаже листовыми вставками по нижней и верхней декам, образуя монтажные отсеки.</p> <p>б) с кольцевым расположением отсеков - крыша состоит из нижней и верхней дек, соединяемых серией концентрических колец, образующих кольцевые отсеки. Наружный отсек разделяется радиальными переборками на кольцевые короба.</p> |
|-------------------------------------|--|--|

К основным несущим конструкциям РВС относятся: окрайка днища, стенка, включая все врезки патрубков и люков, каркас и опорное кольцо каркасной крыши, бескаркасная крыша, кольца жесткости, анкерное крепление стенки. К ограждающим конструкциям резервуара относятся: настил стационарной крыши и центральная часть днища. На рисунке 2 показаны основные виды резервуаров.

|      |      |          |         |      |  |            |
|------|------|----------|---------|------|--|------------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист<br>20 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |            |

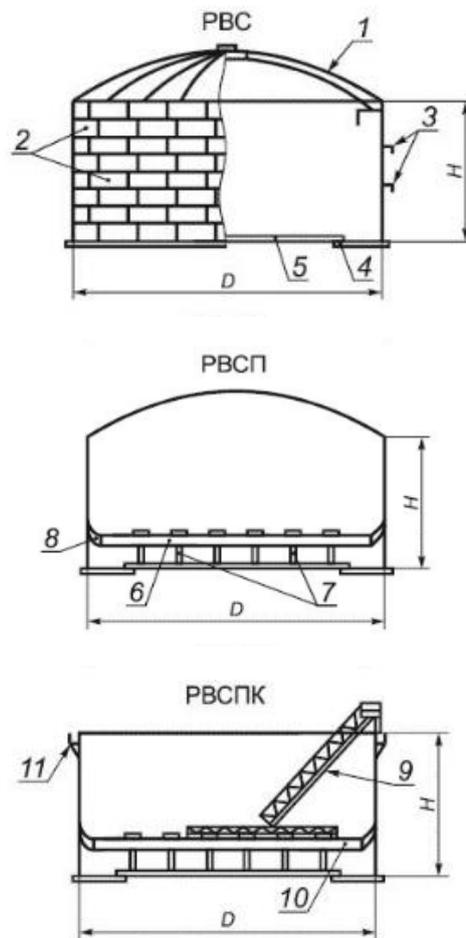


Рисунок 2 – Виды резервуаров [11].

1 - каркас крыши; 2 - пояса стенки; 3 - промежуточные кольца жесткости; 4 - кольцо окраек; 5 - центральная часть днища; 6 - понтон; 7 - опорные стойки; 8 - уплотняющий затвор; 9 - катушечная лестница; 10 - плавающая крыша; 11 - верхнее кольцо жесткости (площадка обслуживания)

## 1.2 Производство резервуаров

РВС производятся из малоуглеродистых, нержавеющей, низколегированных сталей. Технологии сборки: рулонированная, листовая или комбинированный метод. Нормативные значения характеристик сталей принимают по соответствующим стандартам и ТУ на металлопрокат. При изготовлении конструкций резервуаров должны соблюдаться требования, изложенные в ТУ предприятия-изготовителя, утвержденных технологических операционных картах, а также в проектной документации. Конструкции должны изготавливаться по рабочим чертежам, разработанным на основании проекта КМ

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 21   |

с учетом особенностей технологического производственного процесса изготовления [11].

Вертикальные стальные резервуары для нефти и нефтепродуктов изготавливаются в соответствии с действующими техническими нормами и правилами безопасности, в том числе пожарной, химической и экологической. Основные требования к производству вертикальных резервуаров приведены в ПБ 03-605-03 [10] и ГОСТ 31385-2008 [11].

Конструктивно РВС представляют собой цилиндрическую емкость, которая оснащена всей необходимой арматурой, автоматикой и средствами контроля. Широкое распространение этот вид резервуарной продукции получил в сфере стационарного хранения нефти, светлых нефтепродуктов и жидкой химии, в частности, агрессивных сред – кислот и щелочей.

Наиболее востребованные методы производства резервуаров – это рулонная и листовая технологии. Первый считается индустриальным, так как позволяет существенно сократить себестоимость и время изготовления изделия. Второй применяется в производстве специальной резервуарной продукции, в частности, работающей под давлением. Рулонная технология предполагает автоматическую сварку и монтаж резервуара непосредственно на технологической площадке, реже – на территории предприятия-изготовителя с последующей доставкой и установкой. При листовом методе проводится механическая обработка сварных кромок – применяются фаски с параметрами под сварку.

Монтаж конструкций резервуаров должен осуществляться в соответствии с проектами КМ, ППР, ГОСТ 31385-2008 [11]. Проект производства монтажно-сварочных работ является основным технологическим документом при монтаже резервуара. На резервуарах должны монтироваться следующее оборудование и системы:

- приемо-раздаточные устройства с внутренней стороны резервуара;
- устройства для размыва донных отложений;

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 22   |

- кран сифонный, водоспуск;
- замерный люк, световой, смотровой, люк-лаз, монтажный;
- дыхательные и предохранительные клапаны со встроенными огнепреградителями для РВС;
- вентиляционные патрубки для РВСП;
- оборудование системы управления резервуарным парком, включающее приборы контроля, сигнализации и защиты резервуара;
- трубопроводы и генераторы систем пожаротушения;
- трубопроводы системы охлаждения резервуара;
- система защиты резервуара от коррозии;
- система молниезащиты, защиты от статического электричества и заземления.

### **1.3 Инженерно-геологические условия монтажа резервуаров вертикальных стальных**

Рекомендуется, что перечень исходных данных для проектирования основания и фундамента под резервуар входят данные инженерно-геологических изысканий. Материалы инженерно-геологических изысканий площадки строительства содержат следующие сведения о грунтах и грунтовых водах:

- литологические колонки;
- физико-механические характеристики грунтов (плотность грунтов  $\rho$ , удельное сцепление грунтов  $c$ , угол внутреннего трения  $\phi$ , модуль деформации  $E$ , коэффициент пористости  $e$ , показатель текучести  $IL$  и др.);
- расчетный уровень грунтовых вод с учетом прогноза изменения гидрогеологического режима грунтовых вод на период срока службы резервуаров без учета их объемов.

В районах распространения многолетнемерзлых грунтов проводятся изыскания с целью получения сведений о составе, состоянии и свойствах мерзлых и оттаивающих грунтов, криогенных процессов и образованиях,

|      |      |          |         |      |  |            |
|------|------|----------|---------|------|--|------------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист<br>23 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |            |

включая прогнозы изменения инженерно-геокриологических условий проектируемых резервуаров с геологической средой.

По совокупности свойств инженерно-геологические условия площадки для строительства резервуаров подразделяются на благоприятные, неблагоприятные и весьма неблагоприятные.

Таблица 2 – Условия для устройства оснований и фундаментов резервуаров

| Неблагоприятные условия   | Весьма неблагоприятные   | Благоприятные условия  |
|---|--|--|
| Грунты с модулем деформации $E < 10$ МПа; просадочные и набухающие; вечномерзлые грунты с льдистостью $< 0,40$ ; районы с сейсмичностью 7 баллов и более; грунты с отклонением слоев от горизонтали более 7 градусов. | Грунты плавунного типа; подрабатываемые территории; просадочные грунты мощностью более 25 метров; вечномерзлые грунты с льдистостью $> 0,40$ ; зоны тектонических разломов; участки распространения оползневых, карстовых, мерзлотных и др. опасных геологических процессов. | В благоприятных инженерно-геологических условиях под фундаменты резервуаров делают выработки, согласно п. 8.4 СП 11-105-97 [12]. Для резервуаров вместимостью свыше 5000 м <sup>3</sup> необходимо сделать не менее 5 выработок, с расположением одной выработки в центре, а остальные - должны быть равномерно распределены по периметру основания, на расстоянии не более 2 м от предполагаемого положения стенки резервуара. Скважины проходятся на глубину не менее 0,5 диаметра резервуара, а в центре - не менее 0,75 диаметра, но не менее 30 м. Для резервуаров вместимостью более 5000 м <sup>3</sup> необходимо выполнять полевые испытания грунтов - штамп. |

#### 1.4 Обслуживание резервуаров

Для каждого резервуара, находящегося в эксплуатации, должны быть следующие документы:

- а) технический паспорт резервуара;
- б) технический паспорт на плавающую крышу;
- в) градуировочная таблица резервуара;
- г) технологическая карта резервуара и схема технологических трубопроводов;
- д) журнал текущего обслуживания;
- е) журнал эксплуатации молниезащиты, защиты от проявления статического электричества;

|      |      |          |         |      |  |            |
|------|------|----------|---------|------|--|------------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист<br>24 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |            |

ж) схема молниезащиты и защиты резервуара от проявлений статического электричества.

Допустим, что на производстве эксплуатируется резервуар, у которого отсутствует техническая документация строительства, то в данном случае паспорт составляет предприятие, эксплуатирующий резервуар.

Паспорт должен быть составлен на основании детальной технической инвентаризации всех частей и конструкций резервуара.

Техническое обслуживание каждого резервуара должно выполняться в соответствии с картами технического обслуживания (таблица 3) и составлением необходимой ремонтной документации.

При осмотре РВС необходимо обратить внимание на:

- утечку нефти;
- образование трещин по сварным швам и основному металлу;
- появление вмятин;
- неравномерную осадку резервуара.

Таблица 3 – Карта технического обслуживания резервуаров [24]

| Наименование объекта                 | Сроки проведения работ   | Перечень работ  |
|--------------------------------------|--|---|
| Резервуар в целом                    | Ежедневно в светлое время суток  | Проверить визуально внешнее состояние. Обратить внимание на сварные вертикальные и горизонтальные швы нижних поясов, окрайки днища  |
| Дыхательный клапан                   | Не реже: 2 раз в месяц в весенне-летний период; 1 раза в неделю в осенне-зимний период | Седла тарелок очистить от окиси металла, грязи и пр., что препятствует клапанам свободно перемещаться вверх и вниз. Тарелки клапанов несколько раз повернуть, прижимая их к седлу. Не допускать заедания, примерзания клапанов, обмерзания предохранительных сеток, закрывающих наружные отверстия дыхательных клапанов |
| Огневой предохранитель на резервуаре | Не реже 1 раза в месяц в весенне-летний период   | Снять крышку огневого предохранителя, проверить исправность и чистоту пакетов, удалить с них пыль, проверить плотность крышки и фланцевых соединений, правильность расположения пластин или   |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   |   | гофрированной и плоской металлических лент в пакете   |
| Предохранительный клапан                        | Не реже: 2 раз в месяц в весенне-летний период; 1 раза в 10 дней в осенне-зимний период | Проверить качество и паспортный уровень масла, горизонтальность колпака, чистоту сетчатой перегородки. При снижении уровня жидкости в гидрозатворе долить жидкость той же марки. При обнаружении удалить с внутренней поверхности колпака снег, лед, иней |
| Люки: световой, люк-лаз                         | Не реже 1 раза в месяц  | Проверить визуально наличие прокладок и затяжку болтов фланцевых соединений   |
| Уровнемер                                       | Каждый раз перед использованием, но не реже 1 раза в месяц                              | Проводить контрольную проверку правильности показаний прибора в соответствии с инструкцией завода-изготовителя  |
| Перепускное устройство                          | Не реже 2 раз в месяц   | Проверить плавность открытия-закрытия вентиля   |
| Перепускное устройство                          | Не реже 2 раз в месяц   | Проверить плавность открытия-закрытия вентиля   |
| Сифонный кран                                   | Не реже 2 раз в месяц   | Проверить отсутствие течи в сальниках крана, поворот крана должен быть плавным, без заеданий; в нерабочем состоянии приемный отвод должен находиться в горизонтальном положении   |
| Приемо-раздаточные патрубки                     | Каждый раз при приеме-отпуске, но не реже 2 раз в месяц                                 | Проверить герметичность сварных швов  |
| Лестница шахтная                                | Перед использованием, но не реже 1 раза в месяц   | Следить за исправностью, не допускать загромождения посторонними предметами, не допускать присутствия наледи в осенне-зимний период   |
| Основание и фундамент                           | В первые 4 года эксплуатации - 1 раз в год;   | Основание и фундамент   |
| Система размыва донных отложений                | В соответствии с инструкцией по ее эксплуатации   | Контрольный пуск с целью проверки целостности и пропускной способности системы  |
| Понтон стальной с открытыми отсеками (для РВСП) | 2 раза в год  | Проверить наличие нефти на поверхности понтона  |
| Плавающая крыша; Центральная часть (для РВСПК)  | Ежедневно, в светлое время  | Проверить наличие отпотин или нефти   |

|      |      |          |         |      |  |            |
|------|------|----------|---------|------|--|------------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист<br>26 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |            |

## 1.5 Проблемы остаточного ресурса резервуаров вертикальных стальных

Остаточный ресурс - суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Диагностика резервуара заключается в выполнении комплекса мероприятий по техническому обследованию, дефектоскопии и обработке полученной информации, составлению заключения о техническом состоянии резервуара и выдаче рекомендаций по дальнейшему его использованию. Для этого инструкция содержит методы общего технического диагностирования, выявления и измерения различных дефектов, а также параметров концентрации напряжений в металле с применением неразрушающих методов контроля. Она включает также методы измерения (расчета) параметров, характеризующих степень старения металла, усталостные трещины и коррозионные повреждения.

Для полноты информации диагностика должна включать расчеты остаточного ресурса резервуара по коррозионному износу, малоцикловой усталости и трещиностойкости. При малоцикловом нагружении в стали нагруженных элементов резервуара (стенка, крайка, днище) сначала возникают усталостные повреждения, которые постепенно развиваются до образования трещин. В связи с этим расчет на малоцикловую усталость резервуаров выполняют в две стадии; накопление усталостных повреждений и развития трещин до критического размера, при достижении которого начинается лавинообразное раскрытие трещины.

Вертикальные стальные резервуары работают в условиях статического и малоциклового нагружения. Поэтому при их диагностировании необходим расчет остаточного ресурса как при статическом нагружении с учетом коррозии металла, так и при малоцикловом нагружении.

Остаточный ресурс стенки резервуара при малоцикловом нагружении можно определить на основе механики малоциклового разрушения.

Продление срока эксплуатации резервуаров для хранения

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
|      |      |          |         |      |  | 27   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |      |

нефтепродуктов в нефтебазах имеет как положительную, так и отрицательные моменты, касаемо экономической целесообразности и по прочностным показателям, в конечном итоге существенно влияет на надежность резервуаров. Рассматривая недостатки продления сроков эксплуатации резервуаров, выделяются следующие важные аспекты:

1. Естественное старение материалов, из которых изготовлены резервуары, то есть при длительной эксплуатации в агрессивных средах как нефтепродукты, происходит изменение свойств материала (например, сталей) в сторону повышения прочности и понижения пластичности. Как следствие, существенно снижается холодостойкость материала, что прежде всего существенно повышает риск числа аварий либо отказов резервуаров на нефтебазах.

2. Проблема раннего определения частичной или полной потери работоспособности резервуара, при длительной эксплуатации, ограничиваемая рядом факторов таких как: Отсутствие научно обоснованных подходов, реализованных на практике в производственных масштабах в области технического диагностирования. Определение остаточного ресурса резервуаров ограничивается показателями существующих методов диагностирования, которые в свою очередь ограничиваются технико-нормативными документами.

3. Отсутствие конкретных нормативных документов по диагностированию ориентированных на технический контроль резервуаров, выработавших срок эксплуатации. Расчеты на прочность для длительно эксплуатируемых резервуаров ограничиваются геометрическими параметрами обнаруженных дефектов и не учитывают развитие зарождающихся плоскостных дефектов.

### **1.6 Анализ аварийности и причин аварий вертикальных стальных резервуаров**

На сегодняшний день стальные вертикальные резервуары являются

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 28   |

одними из наиболее опасных промышленных объектов. Это связано с рядом причин:

- высокая пожаровзрывоопасность хранимых продуктов;
- большая протяженность сварных швов конструкции, которую достаточно трудно и трудоемко полностью проконтролировать;
- несовершенства геометрической формы, возникающие еще на стадии гидроиспытаний резервуаров;
- значительные перемещения стенки резервуара как в процессе эксплуатации, так и в процессе выполнения технологических операций;
- высокая скорость коррозии элементов конструкции;
- малоцикловая усталость отдельных зон конструкции;
- сложный характер нагружения конструкции в зоне уторного шва.

По данным авторов исследований Землянскогo А.А. [9] и Тарасенко А.А. [3] из 213 резервуаров, которые они рассматривали было выделено несколько генеральных направлений доминирующих причин разрушения РВС, если не учитывать активную коррозию металла РВС.

В результате общее количество наиболее активных причин разрушения РВС было уменьшено до шести, а наиболее весомой причиной в выделенном спектре является большая неравномерная осадка исследуемого грунтового основания под РВС (таблица 4).

Одним из наиболее полных исследований разрушения РВС в настоящее время является монография И.М. Розенштейна [1], основанная на многолетнем опыте выполнения экспертиз ЦНИИПСК. Обобщенный взгляд автора на проблему аварийности представлен в таблице 5.

Таблица 4 – Основные причины аварий РВС

| №  | Наименование  | Число аварий, шт | Процент от общего числа аварий, % |
|----|---|------------------|-----------------------------------|
| 1  | Неравномерные осадки грунтового основания                 | 99               | 46,5                              |
| 2. | Наличие концентраторов напряжений в несущих и ограждающих | 45               | 21,1                              |

|       |   |     |       |
|-------|---|-----|-------|
|       | конструкциях РВС из-за несовершенства конструкции резервуаров и технологий монтажа  |     |       |
| 3.    | Наличие низкочастотной вибрации и неравномерного нагружения плавающих крыш (например, снеговой нагрузкой, приводящей к обрушению крыш с последующим их разрушением и затоплением) | 38  | 17,9  |
| 4.    | Наличие дефектов в материале и конструкции РВС из-за несоответствия используемого материала сертификационным требованиям  | 19  | 8,9   |
| 5.    | Нарушение технологии изготовления и возведения РВС  | 10  | 4,7   |
| 6.    | Грубые ошибки в аналитических расчетах и проектировании РВС, особенно попредельному состоянию   | 2   | 0,9   |
| ВСЕГО |   | 213 | 100,0 |

Таблица 5 – Причины разрушения РВС по И.М. Розенштейну [1]

| Прямые               | Косвенные                    |
|----------------------|------------------------------|
| Хрупкие трещины      | Неудачные проектные решения  |
| Вязкие трещины       | Низкое качество работ        |
| Пересортица проката  | Неорганизованность работ     |
| Дефекты сварных швов | Низкое качество материалов   |
| Неравномерные осадки | Нарушение технологии монтажа |
|                      | Некачественный контроль      |

В настоящее время информации об аварийных случаях, связанных с эксплуатируемыми резервуарами сравнительно немного, поскольку до недавнего времени эта информация считалась конфиденциальной, а так же связано с нежеланием компаний, как у нас в стране, так и за рубежом, распространять негативную информацию о истинных причинах разрушения резервуаров, о масштабе причинённого ущерба, экологических ущербах аварии, и нередко предоставляют недостоверные сведения или вовсе фальсифицируют результаты экспертиз. Аварии РВС, сопровождающиеся значительными потерями н/продуктов, и могут привести к отравлению местности и гибели людей.

|      |      |          |         |      |  |            |
|------|------|----------|---------|------|--|------------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист<br>30 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |            |

Основными причинами аварий могут явиться:

- 1) местные просадки основания;
- 2) воздействие низких температур окружающего воздуха;
- 3) искажение формы оболочки из-за низкого качества ее монтажа или некачественно выполненного фундамента;
- 4) дефекты сварных соединений;
- 5) вибрационное воздействие насосов при перекачивании жидкости;
- 6) неравномерное оседание основания;
- 7) размыв несущего слоя основания жидкостью при повреждении днища коррозией.

На рисунках 3,4,5,6 показаны питтинговые дефекты днища, расположенные со стороны гидрофобного слоя, коррозионные дефекты, вызванные воздействием подтоварной воды, а так же дефекты сварных соединений и вблизи уторного шва [22].



Рисунок 3 – Питтинговые дефекты днища резервуара



Рисунок 4 – Коррозионные дефекты, вызванные воздействием подтоварной воды

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
|      |      |          |         |      |  | 31   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |      |



Рисунок 5 - Дефекты сварных соединений и вблизи угорного шва



Рисунок 6 - Дефекты сварных соединений и вблизи угорного шва

Чрезвычайные ситуации часто вызваны осаждением оснований вертикальных стальных резервуаров. Они достигают наибольшего значения у стенок, и наименьшего в центре. Это говорит о том, что осаждение происходит неравномерно. В этом случае появляются растягивающие напряжения в днище, возникают изменения формы цилиндрической оболочки. В дополнение к этому, процесс сопровождается образованием вмятин, а в некоторых случаях могут появиться трещины в днище. Равномерная осадка не гарантирует отсутствия разрушения близ лежащих коммуникаций. В местах соединения они также могут быть разрушены. Разрушение резервуара обычно начинается с появления трещин в корпусе, что приводит к аварийному загрязнению среды нефтью. Интенсивность разрушения зависит от различных условий.

Как правило, сразу после гидростатического испытания между центральной частью и стенкой возникает неравномерная осадка, которая обусловлена из-за разницы гидростатического и почвенного давления на стенки грунта. Давление в средней части не более 0. 1-0 2 МПа, давление на стенки составляет 0. 9 до 1. 5 МПа.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 32   |

Деформация грунта происходит за счет неизбежного накопления основания резервуара, так как грунт уплотняется под нагрузкой, вызванной 25 массой конструкции РВС и хранящейся в ней жидкостью. А все потому, что по периметру грунта неизбежны осадки и локальные просадки, а уплотнить почву в такой же степени искусственными основаниями невозможно.

Поскольку вышеупомянутые отложения блока РВС имеют дополнительную деформацию, особенно это касается нижней стенки и нижней кромки соединения, что приводит к дополнительным напряжениям. Неравномерная осадка, которая привела к появлению напряжений, может спровоцировать возникновение разрушений пластин и уничтожению сопрягающих узлов.

За последние 30 лет в 38 случаях из 43 причиной разрушения является неравномерная осадка.

Таким образом, приходим к выводу, что проводить оценку напряженно-деформированного состояния нужно под нагрузкой и с учетом его действительной пространственной положения и геометрической формы, для того чтобы определить техническое состояние резервуара и провести ремонтные работы.

### **1.7 Методы исследования напряженно-деформированного состояния резервуара**

Вертикальные стальные резервуары для хранения нефтепродуктов, эксплуатирующихся на нефтебазах, согласно статьи 2. п. 1 Федерального закона от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 03.07.2016) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" относятся к опасными производственными объектам и в соответствии со статьей 13 того же закона подлежат к экспертизе промышленной безопасности. Безопасность резервуаров определяется специализированной экспертной организацией имеющая соответствующие лицензии, одним из основных этапов определения которого является проведение неразрушающего контроля. Исходя из анализа

|      |      |          |         |      |  |            |
|------|------|----------|---------|------|--|------------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист<br>33 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |            |

камеральных работ обследование резервуара включает частичное или полное обследование. Частичное обследование проводится без остановки рабочего процесса резервуара, то есть осмотру подвергается только доступная дефектоскопистам часть. Полное обследование резервуара проводится после получения наряда-допуска на огневые работы, включающие подготовительные работы как: полное освобождение от продукта хранения, зачистка и дегазация не более определенного уровня предельно допустимой концентрации паров нефтепродуктов.

Таким образом, при полном техническом обследовании достигается более достоверная оценка технического состояния, чем при частичном. В количественном показателе это отражается в объеме обнаруженных допустимых и недопустимых дефектов.

Технический контроль на опасных производственных объектах (ОПО), в данном случае резервуаров для хранения нефтепродуктов, разделяется на 3 группы: разрушающий контроль, повреждающий контроль и неразрушающий контроль (НК).

Разрушающий контроль – методы контроля, при котором требуются отбор образцов обычно вырезкой из материала объекта контроля и образец подвергается различным анализам в специализированных стационарных лабораториях. Объект контроля во время проведения анализа остается неработоспособным до восстановления участков отбора образцов.

Повреждающий контроль – методы контроля, при котором анализ производится непосредственно на объекте, но в местах контроля остаются не препятствующие безопасной эксплуатации следы, которые можно не устранять. К этим методам можно отнести: твердометрия – измерение твердости поверхности материала, при использовании динамического твердомера на поверхности материала образуется неглубокая выемка от удара наконечника датчика; стилоскопирование – оценка марки стали по составу оптического спектра вольтовой дуги, создаваемой между электродом прибора (стилоскопа) и

|      |      |          |         |      |  |            |
|------|------|----------|---------|------|--|------------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист<br>34 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |            |

поверхностью объекта, при этом, на месте контроля остается прижег.

Неразрушающий контроль – методы контроля, при которым в некоторых случаях нет необходимости остановки рабочего процесса объекта контроля. Контроль производится непосредственно на объекте, при этом контролируемый объект сохраняет работоспособность без повреждения участка контроля.

На основании ГОСТ Р 56542-2015 [13] классификация неразрушающих именно физических методов контроля подразделяется на девять видов контроля, так называемые классы видов неразрушающего контроля представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Классификация видов НК

| Вид контроля            | Категория вида контроля  | Требования к материалу объекта |
|-------------------------|--|--------------------------------|
| Оптический              | Для оптически прозрачных материалов – объемный, для непрозрачных – поверхностный | Любой твердый или жидкий       |
| Проникающими веществами | Поверхностный  | Любой твердый                  |
| Магнитный               | Поверхностный  | Ферромагнитные металлы         |

Окончание таблицы 6

|                  |               |                          |
|------------------|---------------|--------------------------|
| Электромагнитный | Поверхностный | Любые металлы            |
| Электрический    | Поверхностный | -                        |
| Радиоволновой    | Объемный      | Любые неметаллы          |
| Радиационный     | Объемный      | Любой твердый            |
| Акустический     | Объемный      | Любой твердый или жидкий |
| Тепловой         | Объемный      |                          |

Основные методы акустического неразрушающего контроля. Методы акустического контроля (АК) делят на две большие группы: активные, использующие излучение и прием акустических колебаний и волн, и пассивные, основанные только на возникновении в объекте контроля бегущих и стоячих волн (или колебаний), объекта в целом или его части. На рисунке 7 приведена

классификация большинства методов АК.

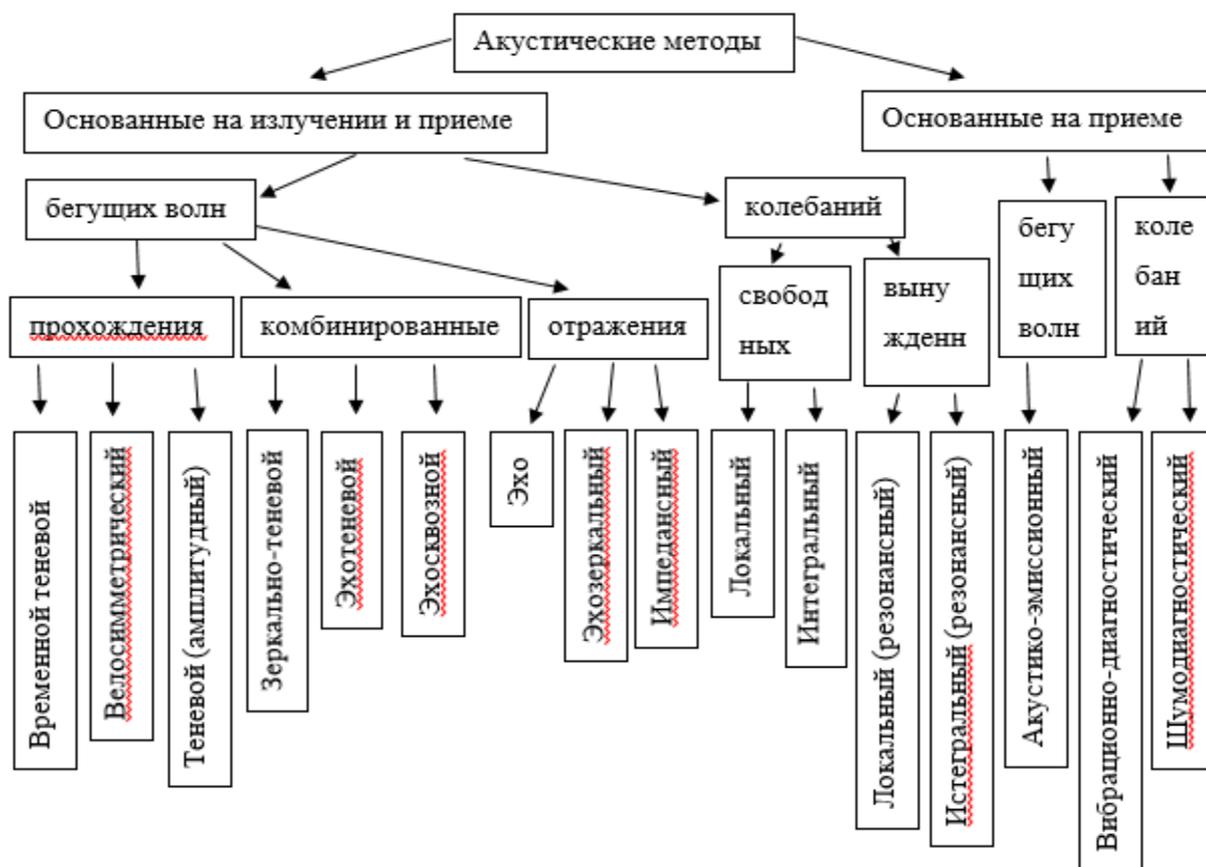


Рисунок 7 - Классификация акустических методов контроля [21]

Так же существуют две отдельные группы методов НК: активные и пассивные, которые представлены в таблице 7. При пассивном методе НК выявление дефектов происходит без постороннего воздействия на контролируемый материал и без предварительной подготовки контролируемого участка, что влияет на скорость проведения контроля – значительно выше по сравнению с активными методами НК.

Таблица 7 – Группы методов неразрушающего контроля

| Пассивные  | Активные  |
|--|---|
| Используется информация заложенная внутри металла, по показаниям собственной энергии металла | Внешнее физическое воздействие, получение информации по результатам воздействия на материал |
| Тепловой контроль, акустико-эмиссионный, методы магнитной памяти металла                     | Рентгенографический, ультразвуковой, капиллярный, магнитопорошковый и т.п.                  |

Обязательным требованием для обеспечения надёжности резервуаров

является раннее обнаружение дефектов, при этом основным инструментом становится применение неразрушающих методов контроля. При проведении диагностирования резервуаров широкое распространение получили следующие методы НК: визуальный и измерительный, рентгенографический, ультразвуковой, капиллярный, магнитопорошковый и акустико-эмиссионный. В таблице 8 рассмотрим более подробно данные методы.

Таблица 8 – Методы неразрушающего контроля резервуаров

| Метод неразрушающего контроля                   | Нормативный документ   | Суть метода  |
|---|--|--|
| Рентгенографический контроль сварных соединений | Контроль сварных соединений методом гаммарентгенографии производится в соответствии с требованиями ГОСТ 7512-82 [13]. По рентгено- или гамма-снимку определяют характер дефекта, его размеры по длине, глубине и ширине, их количество. Однако при рентгено- или гаммаграфическом методе микроскопические трещины могут быть не выявлены | <p>Перед просвечиванием сварные швы подвергаются внешнему осмотру. В случае обнаружения подрезов, пор, незаверенных кратеров, они до просвечивания должны быть устранены. При обнаружении трещин границы их должны быть определены просвечиванием или любым другим методом: засперлопкой, травлением, применением ультразвуковой дефектоскопии, цветной дефектоскопии. Длина и ширина дефекта по рентгеноснимку определяется измерением. Глубину дефектов по сечению нша ориентировочно определяют при помощи эталона чувствительности, сравнивая затемнение на снимке с затемнением соответствующей канавки эталона чувствительности. По результатам просвечивания делается заключение.</p> <p>В заключении указывают условное обозначение шва, чувствительность снимка в процентах, длину контролируемого участка шва, вид и характер дефектов, их количество, глубину и протяженность дефекта. При наличии однотипных дефектов разного размера в заключении указывают преобладающий размер. К заключению прилагается эскиз резервуара с нанесенной на нем схемой расположения кассет.</p> |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Ультразвуковой контроль сварных соединений  | Методика разработана с учетом рекомендаций и требований ГОСТ 14782-86 [14]. | Ультразвуковой контроль применяют для выявления внутренних и поверхностных дефектов в сварных швах и околошовной зоне без расшифровки характера дефектов по типам (например, шлаковые включения, непровары, трещины и т.п.). Здесь определяется условная протяженность, глубина и координаты дефекта. Ультразвуковая дефектоскопия производится только при положительной температуре воздуха от +5 до 55°C. Ультразвуковой контроль проводят после устранения дефектов, обнаруженных при внешнем осмотре, в объеме, предусмотренном в СНиП 03.03.01-87, а для экспериментальных резервуаров в объеме, предусмотренном их проектом. В случае необходимости определения границ дефектных участков объем контроля увеличивается. |
| Выявление дефектов и определение концентрации напряжений методом инфракрасной спектроскопии |   | Метод инфракрасной спектроскопии предназначен для выявления и измерения концентраторов напряжения, остаточных напряжений в металлоконструкциях резервуаров путем регистрации тепловизором температурного поля металлоконструкции по электромагнитному излучению, возникающему при упругопластическом деформировании металлоконструкции нагрузочными тестами. Для регистрации и измерения температурного поля конструкции применяют быстродействующие тепловизионные камеры с температурным разрешением не более от 0,1 до 0,2°C   |
| Зондирование основания резервуара   |   | Сущность метода заключается в зондировании грунта под днищем резервуара с целью выявления факта наличия и места нахождения утечек нефтепродуктов по месту диэлектрических аномалий. Аномалия с повышенной, по сравнению с фоновыми значениями, удельной проводимостью или   |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>диэлектрической проницаемостью относят к скоплению ржавчины или скоплений воды в месте нахождения хлопуна.</p> <p>Аномалии с пониженной проводимостью или меньшей величиной диэлектрической проницаемости относят к скоплению нефти и нефтепродуктов в грунте подушки резервуара.</p> <p>Метод позволяет обнаружить зоны утечки нефтепродуктов через днище, повышенного коррозионного износа днища при высоком уровне грунтовых вод, а также идентифицировать вид дефекта: отпотина, утечка, повышенная коррозия и хлопун днища</p> |
| Исследование механических свойств, химического состава и структуры стали |  | <p>Исследование механических свойств, химического состава, а также структуры металла выполняется в случае необходимости для установления их соответствия требованиям проекта или с целью выяснения изменения их под влиянием эксплуатационных факторов и времени.</p>  |

Проблемами напряженно-деформированного состояния резервуаров посвящены многие работы. Например, в исследовании Хоперского Г.Г. [2] анализируются причины ремонтов резервуаров, делается обзор методов расчета НДС резервуара, НДС резервуара при осесимметричной и неосесимметричной деформации. В работах Тарасенко А.А. [3] рассматриваются основные методы ремонта вертикальных стальных резервуаров, состояния крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах. Тарасенко А.А. [3] занимается разработкой основных методов ремонта РВС. Малин А.Д. [4] в своей работе рассказывает об обеспечении надежности резервуаров в эксплуатации. Сметанников О.О. [6] пишет о методике бесконтактного диагностирования вмятин на РВС. Буренин А.А. [5] в своей статье поднял вопрос о планировании сроков обследований резервуаров. В таблице 9 представлены недостатки методов исследований резервуаров.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 39   |

Таблица 9 - Особенности методов оценки резервуаров

| Автор              | Метод   | Сущность метода  | Недостатки   |
|--------------------|---|--|--|
| Слепнев И.В.[6]    | Метод конечных элементов  | В работе есть неточности при решении уравнений, которые описывают неравномерную осадку                       | Данная методика не применима для определения напряженно деформированного состояния резервуара с учетом пространственного положения   |
| Тарасенко А.А. [3] | Метод подъема резервуара  | Метод подъема резервуара для изменения пространственного положения при неравномерной осадке по контуру днища | Методика не может применяться для расчета напряженно деформированного состояния, т.к. для реализации потребуются значительные материальные затраты, расчеты проводились по упрощенным уравнениям                           |
| Хоперский Г.Г.[2]  | Метод оценки НДС резервуара и его конструктивных элементов при равномерной и неравномерной осадке РВС | Автор рассматривает влияние коэффициента постели грунта на НДС РВС   | Разработанная методика не позволяет применить ее для определения НДС резервуаров под действием нагрузок. В работе рассматривается случай деформирования резервуара в вертикальной плоскости, а не неравномерные деформации |

|                       |   |   |  |
|-----------------------|---|---|--|
| Галеев В.Б.[7]        | Метод разложения осадок   | Метод основан на разложении осадок на составляющие в виде тригонометрических рядов различных порядков             | Рассматриваем метод не может быть применен к реальным резервуарам, т.к. в работе не были учтены реальные условия работы резервуара |
| Стулов Т.Т. [8]       | Учет неравномерной осадки основания при оценке НДС резервуара     | В работе используются математические вычисления   | В вычислениях очень много упрощений  |
| Сметанникова О.Ю. [6] | Метод исследования отдельных дефектов резервуаров и окрайки днища | Исследование выполнялось с помощью сравнения результатов расчета и было реализовано в программном комплексе ANSYS | В методике для упрощения математической модели принимались некоторые допущения   |

#### *Программные продукты инженерного анализа*

Для решения такой сложной задачи специалисты трубопроводного транспорта углеводородов и ученые используют специализированные пакеты численного моделирования. Такие пакеты обладают развитыми средствами инженерного анализа. Например, САЕ-системы инженерного анализа (ABAQUS, ANSYS, COSMOS, I-DEAS, NASTRAN, и другие) позволяют не только выполнить качественное моделирование систем различной физической природы, но и исследовать отклик этих систем на внешние воздействия в виде распределения напряжений, температур, скоростей, электромагнитных полей и т.д.

К исследуемым объектам применяют аппарат прочностного математического моделирования, на основе которого формулируются расчетные критерии и выполняются оценки надежности и ресурса, что в результате дает возможность создать нормативные материалы, методические рекомендации и средства повышения механической надежности. Использование таких программ

|      |      |          |         |      |  |            |
|------|------|----------|---------|------|--|------------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист<br>41 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |            |

помогает проектным организациям сократить цикл разработки, снизить стоимость изделий и повысить качество продукции, проверив несколько допустимых вариантов компоновки.

К наиболее распространенным лицензированным продуктам инженерного анализа относят SolidWorks, который является программным комплексом САПР для построения трехмерных моделей согласно ТУ и ГОСТ, с учетом износа и возможных дефектов. Статический анализ в SolidWorks основан на следующих допущениях (рисунок 8) [21].

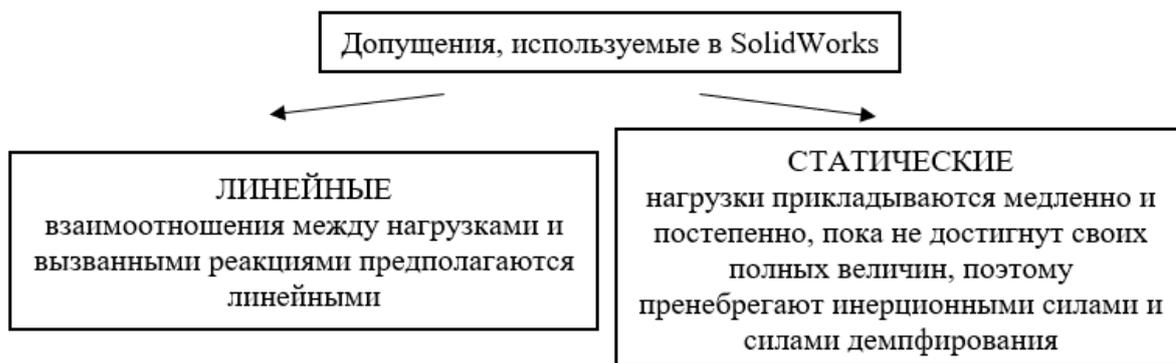


Рисунок 8 – Схема допущений для статического анализа в SolidWorks

В настоящее время часто применяемым в решении исследовательских задач является программный продукт Ansys. Программа ANSYS – это гибкое, надежное средство проектирования и анализа. Она работает в среде операционных систем самых распространенных компьютеров, особенностью программы является файловая совместимость всех членов семейства ANSYS для всех используемых платформ.

Ansys Mechanical – программная среда для оценки напряженно-деформированного состояния трубопроводов методом конечных элементов и модуль Ansys Fatigue Tool – для оценки усталостной долговечности.

#### *Программный комплекс Ansys*

Многоцелевая направленность программы (т.е. реализация в ней средств для описания отклика системы на воздействия различной физической природы) позволяет использовать одну и ту же модель для решения таких связанных задач, как прочность, долговечность, оценку ресурса конструкции. Это обеспечивает

всем пользователям удобные возможности для решения широкого круга инженерных задач. При этом в основе изучения поведения материалов лежат численные методы конечных элементов (МКЭ) [20].

### *Методы конечных элементов*

В основе метода конечных элементов лежит представление континуального твердого тела с бесконечным числом степеней свободы в виде ряда конечных элементов, соединенных между собой в узловых точках. Силовые взаимодействия между конечными элементами передаются через узлы, перемещения которых являются неизвестными. Число степеней свободы одного элемента определяется числом узловых перемещений. Перемещения внутри элемента описываются функцией координат:

$$\{u\} = [F]\{\alpha\}, \quad (1)$$

Где  $\{u\}$  – вектор узловых перемещений;  
 $[F]$  - координатная матрица;  
 $\{\alpha\}$  – вектор неизвестных коэффициентов

В дальнейшем все соотношения метода конечных элементов выражаются через узловые перемещения, которые и являются неизвестными. Линейная деформация внутри конечного элемента будет описываться формулами Коши:

$$\{\varepsilon\} = [A]\{u\} = [B]\{u_i\}, \quad (2)$$

$$[B] = [A][N], \quad (3)$$

Где  $[A]$  – матрица операций дифференцирования

Напряжения определяются по закону Гука:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} = [D][B]\{u_i\}, \quad (4)$$

Где  $[D]$  – матрица упругости, определяемая свойствами материала.

Основная формула метода конечных элементов имеет вид:

$$[K]\{u_i\} = \{p_i\} \quad (5)$$

$$[K] = \iiint_V [B]^T [D] [B] dV, \quad (6)$$

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 43   |

Где  $[K]$  - матрица жесткости конечного элемента.

Необходимость моделирования пластических свойств металлов возникает, когда подвергнутые нагрузке детали и отдельные элементы конструкций работают за пределами упругости. Программа Ansys много направленная, позволяющая решить целый ряд задач. Данный вычислительный комплекс с помощью простых граничных условий позволяет моделировать геометрию любого расчетного элемента, в том числе с учетом длительных и кратковременных внешних и внутренних воздействий, приводящих к развитию осложняющих процессов. При этом нахождение долговечности заключается в вычислении количества блоков нагружения, которые способны выдержать исследуемый элемент или конструкция.

#### *Оценка напряженно-деформированного состояния резервуара*

Проведенный литературный анализ свидетельствует, что одним из определяющих критериев оценки состояния резервуара и оборудования является их оценка через изменение напряженно-деформированного состояния, вследствие основных и дополнительных нагрузок на исследуемую систему. К наиболее непредсказуемым и опасным относят дополнительные нагрузки при сезонных подвижках грунта. И особенно ярко выражены изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) в болотистой местности и на участках распространения многолетнемерзлых грунтов. Примером таких участков является северная территория Томской области.

Структурно схема работ по оценке НДС резервуаров показана на рисунке 9.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
|      |      |          |         |      |  | 44   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |      |



Рисунок 9 – Схема работ по оценке НДС

При недостаточном объеме исходных данных (например, отсутствие исполнительной документации) количество точек измерения (как при нивелировании, так и при измерении деформаций и/или напряжений) должно быть увеличено. Геодезические измерения дополняются проведением геометрических измерений с использованием штриховых мер длины (например, измерительная металлическая рулетка) и специальных измерительных инструментов и приспособлений (например, нивелир и уровень) в соответствии с РД 03-606-03 [30].

Исходя из изложенного выше, следует, что оценка состояния целостности таких сложных технических сооружений, как резервуары, может проводиться разными техническими устройствами с применением различных методик. Но точность полученной информации может быть более высокая только в случае

применения дополнительных инструментов при помощи программ моделирования и программ инженерного анализа, что в совокупности с современным оборудованием, позволит не только констатировать уже изменившееся напряженно-деформированное состояние, но и предопределять его возможные изменения, которые в ближайший период могут произойти с техническим объектом для хранения нефти и нефтепродуктов. Поэтому, постановка задач исследования данной ВКР, заключается в применении комбинированного подхода к оценке НДС резервуаров при помощи методов 3D сканирования и программного комплекса ANSYS.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Общая характеристика резервуаров вертикальных стальных для хранения нефти и нефтепродуктов. Обзор литературы | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 46   |

## 2 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗЕРВУАРА ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО ТИПА РВС- 10000 М<sup>3</sup> МЕТОДОМ 3D СКАНИРОВАНИЯ

Первые наземные лазерные сканеры появились еще в прошлом веке, с каждым годом данное направление пытается занять передовую позицию и активно вступает на геодезический рынок, охватывая новые области применения. Аналогичная тенденция характерна и для нефтегазовой отрасли, где интерес представляют использование НЛС в качестве диагностического прибора при обследовании РВС.

Устаревшие стандарты по съемке резервуаров не обеспечивают качественный, быстрый и надежный контроль. В связи с этим становится востребованными методы наземного лазерного сканирования, позволяющий определить техническое состояние резервуаров. Технология НЛС позволяет получать трехмерные модели резервуаров с высокой плотностью (угловой шаг соответствует 0,9 мм на поверхности при съемке с расстояния 30 м). По этим данным могут быть вычислены градировочные таблицы, данные об отклонении формы резервуара от идеальной или проектной формы с анализом величины отклонений, оценка вертикальности стенок и оси резервуара, отклонений от горизонтали плоскости наружного контура днища резервуара и т.д. [23].

### 2.1 Местоположение объекта исследования

Исследуемый вертикальный стальной резервуар находится в

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

|                   |             |                      |                |             |   |  |             |               |
|-------------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|---|--|-------------|---------------|
|                   |             |                      |                |             | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |  |             |               |
| <i>Изм.</i>       | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>      | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |   |  |             |               |
| <i>Разраб.</i>    |             | <i>Ахметова М.Т.</i> |                |             | Исследование резервуара вертикального стального типа РВС- 10000 м <sup>3</sup> методом 3D сканирования                    | <i>Лит.</i>                                  | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руковод.</i>   |             | <i>Чухарева Н.В.</i> |                |             |   |  | 47          | 145           |
| <i>Рук-ль ООП</i> |             | <i>Шадрина А.В.</i>  |                |             |   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |             |               |
|                   |             |                      |                |             |   |  |             |               |

По физико-географическому положению в региональном плане район работ расположен в северо-восточной части Западно-Сибирской низменности.

Район представляет собой низменную полого холмистую равнину с средними абсолютными отметками высоты местности 60 – 80 м над уровнем моря, расположенную в бассейне реки Соленая, принадлежащую Енисейскому речному бассейну.

Водные объекты на территории обследуемого участка представлены верхними звеньями гидрографической сети реки Соленая, к которым относятся небольшие притоки, ручьи, лога, овраги.

Реки типично равнинные со слабовыраженными, сильно заболоченными долинами, плоскими, часто заболоченными водоразделами. Реки характеризуются спокойным течением и повышенной извилистостью. Суровый климат обуславливает длительный ледостав (октябрь - май) и отсутствие стока в зимний период на малых реках.

Наиболее широкое распространение имеют термокарстовые озёра, образовавшиеся в результате нарушения термических условий мёрзлых грунтов и таяния заключённого в них льда. Они обычно отличаются небольшими размерами и округлыми формами, приурочены, в основном, к заболоченным поймам рек и плоским водоразделам. Хотя надо отметить наличие в районе исследований и достаточно крупных озёр, достигающих по площади нескольких квадратных километров (оз.Бол. Советское) и глубинами до 30 м.

Рельеф территории в его современном виде сформировался в результате процессов морской и ледниковой аккумуляции.

Ледниковая аккумуляция сформировала на существовавшем морском цоколе комплекс форм рельефа ледникового и водно-ледникового происхождения.

Район работ расположен в зоне ледникового комплекса. В составе ледникового комплекса выделяется два типа рельефа: ледниково-аккумулятивный и водно-ледниковый (флювиогляциальный).

|      |      |          |         |      |  |            |
|------|------|----------|---------|------|--|------------|
|      |      |          |         |      | Исследование резервуара вертикального стального типа РВС- 10000 м3 методом 3D сканирования | Лист<br>48 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |            |

Ледниковый тип характеризуется развитием холмисто-грядового рельефа основной морены и озерно-холмистого рельефа краевых образований. Характерным морфологическим признаком этого рельефа является обилие озер различной величины и конфигурации, расположенных в понижениях между беспорядочно разбросанными холмами. Развитие озерных котловин происходит под влиянием термокарстовых процессов. Широко развита заболоченность.

Водно-ледниковый тип рельефа представляет собой зандровую равнину с плоской слабонаклонной поверхностью. Волнистый характер поверхности обусловлен чередованием слабо выраженных водоразделов с пологими плохо выраженными склонами и ложбинами стока.

В современную эпоху основными рельефообразующими процессами являются продолжающиеся эрозионно-аккумулятивная речная деятельность и денудация. Существенным фактором рельефообразования является комплекс процессов, связанных с мерзлотой. Криогенные процессы представлены в виде полигональных грунтов, бугров пучения и тундровых медальонов.

В ландшафтном отношении район располагается в пределах южной субарктической кустарниковой тундры. Высота кустарника, произрастающего по долинам рек и вокруг озер, достигает 2-3 м.

Климат района субарктический. Отрицательная среднемесячная температура воздуха держится в течение 8-9 месяцев. Средняя температура января составляет минус 28 °С. Среднегодовая температура воздуха составляет - 10,1°С. Лето короткое и холодное. Самый теплый месяц лета - июль, имеет среднюю температуру +12,3°С. Среднегодовая скорость ветра – 6 м/сек. Летом преобладают ветры северо-западного направления, зимой – юго-восточного. Среднегодовое количество осадков колеблется в пределах 200-250 мм. Снежный покров устанавливается в середине октября, а сходит к концу июня. Реки замерзают в конце сентября – начале октября, а вскрываются в первой половине июня.

Над рассматриваемой территорией перенос воздушных масс обычно

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Исследование резервуара вертикального стального типа РВС- 10000 м3 методом 3D сканирования | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 49   |

осуществляется в направлении с запада на восток, осенью наоборот, чаще вторгаются воздушные массы со стороны Баренцова и Карского морей. За счет того, что здесь располагается барическая ложбина, простирающаяся от Исландского минимума, в этом районе зимой отмечается усиление циклонической деятельности.

В холодный период года (с октября по апрель – май) проявляется воздействие барических областей, устанавливающихся над северной частью Атлантического океана. В связи с этим зимой, продолжительность которой достигает восьми месяцев, преобладают западные и югозападные воздушные течения. Они представляют собой поток относительно тёплого воздуха, формирующегося над европейским континентом.

С распространением на континент относительно тёплых и насыщенных влагой воздушных масс связано установление облачной погоды, выпадение снега, повышение отрицательной температуры воздуха и малое количество солнечной радиации (21 ккал/см<sup>2</sup> в год).

В летний период над территорией преобладают северные вторжения арктических масс холодного и сухого воздуха континентального типа, распространение которых приводит к установлению относительно малооблачной погоды антициклонального типа и к резкому понижению температуры воздуха. В общем, для района характерна частая смена направления воздушных течений, чем объясняется неустойчивость погоды в течение всего года.

Исследуемая территория расположена севернее Полярного круга в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Исключение могут составлять участки, приуроченные к таликовым зонам под крупными реками и под крупными озерными котловинами.

## **2.2 Общая характеристика резервуара вертикального стального тип РВС 10000 м<sup>3</sup>**



|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Исследование резервуара вертикального стального типа РВС- 10000 м <sup>3</sup> методом 3D сканирования | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 50   |

месторождения. Резервуар стальной вертикальный сварной.

Резервуар состоит из [REDACTED]

Принято, что резервуар жестко закреплен по нижнему ребру стенки. На сооружения действуют следующие нагрузки: [REDACTED]

### 2.3 Методика 3D сканирования

Цель измерения фактических геометрических параметров резервуаров состоит в том, чтоб проанализировать состояние и положение до начала эксплуатации учитывая все нормативные допустимые отклонения. На основании этого контроля своевременно разрабатывают и проводят инженерно-технические мероприятия по предупреждению и устранению опасных для конструкций деформаций.

Трехмерное сканирование – это систематический процесс определения координат точек, принадлежащих поверхностям физических объектов, с целью последующего получения их пространственных математических моделей.

Для измерений использовался наземный лазерный сканер Leica C10, удовлетворяющий требованиям проекта к точности измерений. Для охвата всей поверхности резервуара съемка выполнялась с нескольких позиций на расстоянии до 25м от РВС, с шагом точек от 2 до 4 мм. Результаты сканирования для регистрации сканов осуществлялась в специализированной программе Leica Cyclone для получения лучшего результата и объединённая точечная модель

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Исследование резервуара вертикального стального типа РВС- 10000 м3 методом 3D сканирования | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 51   |

РВС. Данная объединённая точечная модель является исходной для определения деформаций РВС.

Измерение геометрической формы проводятся на уровне верха каждого пояса от вертикали. Измерения в точках соответствующих вертикальным стыкам 1-го пояса.

На рисунке 10 приведены результаты внешнего сканирования РВС. По графическому представлению возможно качественно оценить расположение основания резервуара, стационарных металлоконструкций, рабочих площадок и прочих инженерных решений элементов конструкции.

Для резервуаров РВС-10000 высотой до 12 м, предельные отклонения должны быть меньше, указанных в таблице 10. При этом 25% образующих могут иметь отклонения на 30% больше указанных.

Таблица 10 – Предельные отклонения образующих

| № пояса                 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Величина отклонения, мм | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 75 | 80 |

Результаты замеров приведены в таблице 11.

Исследуемый вертикальный стальной резервуар находится в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе, Красноярского края на территории Сузунского месторождения.

Сравнивая результаты замеров с допустимыми величинами, видно, что отклонения стенки от вертикали имеют отклонения от нормы на 1 поясе в 5,8 и 11 шве.

По результатам проведения наземного лазерного сканирования РВС-1000 была получена единая трехмерная точечная модель поверхности стенки резервуара в системе координат, построенной относительно первой сканерной станции. Результаты построения представлены на рисунке 10.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Исследование резервуара вертикального стального типа РВС- 10000 м <sup>3</sup> методом 3D сканирования | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 52   |

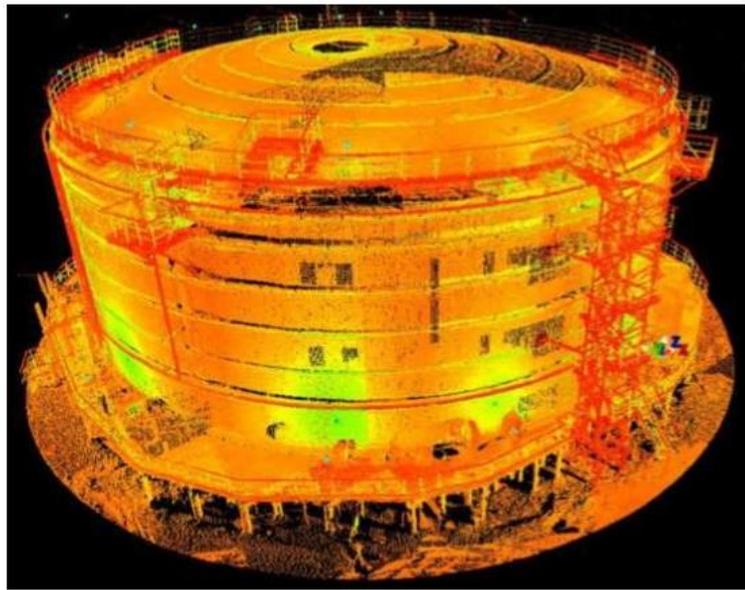


Рисунок 10 – Трехмерная точная модель РВС 10000 м<sup>3</sup>

На основании единой точечной модели поверхности стенки резервуара были определены отклонения образующих стенки резервуара от вертикали. Результаты проведенных измерений, а также результаты сравнения данных, полученных при помощи НЛС, и данных последней полной диагностики резервуара представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Отклонения образующих РВС-10000

| № шва | № пояса   |   |   |   |   |   |   |   |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|       | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|       | Величина отклонения образующей от вертикали, мм |   |   |   |   |   |   |   |
| 1     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14    |   |   |   |   |   |   |   |   |



### 3.1 Резервуар и его размеры

Все расчеты выполняются по методу предельных состояний по СНиП 2-23-81\*, СНиП 2.01.07-85 и ГОСТ Р 59910 – 2008. Нормы позволяют выбрать класс сталей для элементов резервуаров, метод монтажа, конструктивные решения, типы фундаментов и оснований.

Днище резервуара состоит из кольцевой окрайки и центральной части полистового исполнения, из листов  $1490 \times 7600 \text{ мм}^2$ .

С учетом обработки кромок листа при дальнейших расчетах принимаются следующие его размеры:  $1490 \times 7600 \text{ мм}^2$ . Соответственно количество поясов в резервуаре будет равно восьми. [REDACTED]

[REDACTED] Радиус резервуара определяется из формулы 1 для объема цилиндра:

$$V = \pi \times r^2 \times H \quad (1)$$

где  $r$  – радиус резервуара, м;

$H$  – высота стенки резервуара, мм.

$$[REDACTED] \quad (2)$$

Периметр резервуара  $L_{\text{п}}$  и число листов в поясе  $N_{\text{л}}$  рассчитываются по формулам 2 и 4 соответственно.

$$L_{\text{п}} = 2 \times \pi \times r \quad (3)$$

$$N_{\text{л}} = \frac{L_{\text{п}}}{L} \quad (4)$$

где  $L$  – длина листа в поясе резервуара, мм.

[REDACTED]

[REDACTED]

### 3.2 Расчёт стенки резервуара

Согласно ТКП 45-5.04-172-2010 номинальная толщина каждого пояса стенки резервуара  $t_u$  рассчитывается по формуле:

$$t_u = [0,001 \times \rho \times g \times (H_i - X_L) + 1,2 \times p] \times \frac{r}{R} + \Delta t_{cU} + \Delta t_{mU} \quad (5)$$

$$\text{где } X_L = \sqrt{r \times (t_L - \Delta t_{cL} - \Delta t_{mL})}$$

Расчетное сопротивление материала стенки резервуаров по пределу текучести определяется по формуле:

$$R = \frac{R_{yn} \times \gamma_c \times \gamma_t}{\gamma_m \times \gamma_n} \quad (6)$$

где  $t_L$  – назначенная номинальная толщина пояса стенки, примыкающего снизу к  $i$ -му стыку, м;

$t_{cU}$  – припуск на коррозию пояса стенки, примыкающего к  $i$ -му стыку снизу, м;

$t_{mU}$  – минусовой допуск на прокат пояса стенки, примыкающего к  $i$ -му стыку снизу, м;

$R$  – расчетное сопротивление материала пояса стенки по пределу текучести, МПа;  $\rho$  – плотность нефти,  $860 \text{ кг/м}^3 = 0,860 \text{ т/м}^3$ ;

$p$  – нормативное избыточное давление в газовом пространстве, 0 Мпа;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$H_i$  – расстояние от зеркала продукта до  $i$ -го стыка поясов при эксплуатации, м.

$R_{yn}$  – нормативное сопротивление растяжению (сжатию) металла стенки, равное минимальному значению предела текучести, принимаемому по государственным стандартам на листовую прокат;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы;

$\gamma_c = 0,7$  - для нижнего пояса;  $\gamma_c = 0,8$  - для остальных поясов;

|      |      |          |         |      |                                 |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Расчеты и технологическая часть | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                 | 56   |

$\gamma_t$  – температурный коэффициент,  $\gamma_t = 1$ ;

$\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу,  $\gamma_m = 1,025$

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности, для I класса опасности  $\gamma_n = 1,2$ ; для II класса  $\gamma_n = 1,1$ ; для III класса  $\gamma_n = 1,05$ ; для IV класса  $\gamma_n = 1$ .

Результаты расчета толщины  $t_u$  каждого пояса стенки следует округлить до целого числа в большую сторону, в соответствии со значениями толщины проката по ГОСТ 19903, сравнить с минимальной толщиной стенки и свести все данные в таблицу.

Рассчитаем для нижнего пояса сопротивление материала стенки резервуаров по пределу текучести.



Номинальная толщина каждого пояса стенки резервуара  $t_n$ :

Для нижнего пояса:

$$X_{л=0}$$



Для второго пояса:



Сведём все результаты подсчётов в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты подсчётов

| Номер пояса | Номинальная толщина пояса $t_U$ , мм | $\Delta t_{cU}$ , мм | $t_{mU}$ , мм | Минимальная толщина стенки $t_{min}$ , мм | Принятая толщина пояса $t$ , мм |
|-------------|--------------------------------------|----------------------|---------------|---|---------------------------------|
| 1           | ■                                    | ■                    | ■             | ■   | ■                               |
| 2           | ■                                    | ■                    | ■             | ■   | ■                               |
| 3           | ■                                    | ■                    | ■             | ■   | ■                               |
| 4           | ■                                    | ■                    | ■             | ■   | ■                               |
| 5           | ■                                    | ■                    | ■             | ■   | ■                               |
| 6           | ■                                    | ■                    | ■             | ■   | ■                               |
| 7           | ■                                    | ■                    | ■             | ■   | ■                               |
| 8           | ■                                    | ■                    | ■             | ■   | ■                               |

### 3.3 Расчёт днища резервуара

Расчёт ширины краечного кольца днища проводится по формуле:

$$L_0 = k_2 \times \sqrt{r \times t_1} \quad (7)$$

где  $t_1$  – номинальная толщина нижнего пояса стенки;

$k_2 = 0,92$  – безразмерный коэффициент;

$k$  – радиус резервуара.



Толщина кольцевых краек днища вычисляется по формуле:

$$t_b = \left( k_1 - 2,4 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{r}{t_1 - \Delta t_{cs}}} \right) \times (t_1 - \Delta t_{cs}) + \Delta t_{cb} + \Delta t_{mb} \quad (8)$$

где  $k_1 = 0,77$  – безразмерный коэффициент;

$\Delta t_{cs}$ ,  $\Delta t_{cb}$  – припуск на коррозию нижнего пояса стенки и днища соответственно;

$\Delta t_{mb}$  – минусовой допуск на прокат окрайки днища.



Согласно ТКП 45-5.04-172-2010 номинальная толщина окрайки днища резервуара равна 7 мм, исключая припуск на коррозию, согласно расчетам принимаем толщину окрайки равную 8 мм и ширину окрайки равную 700 мм.

### 3.4 Расчёт кровли резервуара

Самонесущие купольные (сферические) крыши должны отвечать следующим требованиям:

- минимальный радиус сферической поверхности равен  $0,8D$ ;
- максимальный радиус –  $1,5D$ , где  $D$  – диаметр резервуара;
- минимальная толщина настила – 5 мм.

Минимальная расчетная толщина полотна крыши по условию устойчивости без припуска на коррозию определяется по формуле:

$$t_k = 4,48 \times \left(\frac{p}{E}\right)^{0,5} \times \frac{r}{\sin\theta}, \quad (9)$$

где  $\theta$  – угол крыши с горизонтальной плоскостью,  $\sin\theta=20^\circ$ ,

$E$  – модуль упругости стали,

$P$  – расчетная нагрузка, Па,

Из уравнения (11) определяем расчетную нагрузку:

$$P = 1,05 \times g_m + 0,95 \times 1,6 \times S + 0,95 \times 1,2P_{\text{вак}}, \quad (10)$$

где  $g_m$  – масса 1 м<sup>2</sup> листа крыши, кг;

$g_y$  – масса 1 м<sup>2</sup> утеплителя, кг,  $g_y=0$ ;

$S$  – полное нормативное значение снеговой нагрузки, (II район по снеговому покрову), Па,

$P_{\text{вак}}$  – величина относительного разрежения в резервуаре под крышей, Па.

Из уравнения (10) найдем величину  $g_m$ :

|      |      |          |         |      |                                 |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Расчеты и технологическая часть | Лист |
|      |      |          |         |      |                                 | 59   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                 |      |

$$g_m = V \times \rho_{me}, \quad (11)$$

где  $\rho_{me}$  –плотность металла,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ,

Тогда уравнение расчетной нагрузки  $P$  будет иметь вид:

Минимальная расчетная толщина полотна крыши имеет вид:

Принимаем толщину покрытия 5 мм.

Расчет узла на кольцевое растягивающее усилие:

$$N_k = r^2 \times \frac{P}{2 \times \sin 20} \quad (12)$$

В резервуарах, работающих с избыточным внутренним давлением, узел крепления крыши вверху стенки должен быть рассчитан на кольцевое сжимающее усилие:

$$N_{kc} = r^2 \frac{(P_i - g_{\min})}{2 \times \sin \theta} \quad (13)$$

где  $P_i$  – максимальное избыточное давление,

$g_{\min}$  – минимальная вертикальная расчетная нагрузка от веса крыши,  
 $g_{\min} = 0,9(g_m + g_y)$ .

Расчётную площадь составляет участок крыши шириной  $l_k$ , вычисляется по формуле:

$$l_k = 0,6 \left( r \times \frac{t_k}{\sin \theta} \right)^{0,5} \quad (14)$$

|      |      |          |         |      |                                 |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Расчеты и технологическая часть | Лист |
|      |      |          |         |      |                                 | 60   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                 |      |

[REDACTED]

Участок стенки резервуара шириной  $l_c$ , вычисляется формуле:

$$l_c = 0,6 \times (r \times t_k)^{0,5} \quad (15)$$

[REDACTED]

После вычисления  $l_k$  и  $l_c$  находим общую площадь элемента, воспринимающего кольцевое усилия, и рассчитываем возникающее в нем напряжение после чего сравниваем его с допустимым:

$$\frac{N_k}{S_{пр} + l_k \times t_k + l_c \times \delta_c} \leq R_y, \quad (16)$$

$$S_{пр} = 141,96 \text{ см}^3$$

где  $S_{пр}$  – площадь сечения профиля опорного элемента.

Выбираем уголок №25 с площадью сечения профиля  $S_{пр}=141,96 \text{ см}^2$  (ГОСТ 8509 – 93).

[REDACTED]

[REDACTED]

Вывод: в результате аналитического расчета были рассчитаны следующие интересующие нас величины, такие как толщина листов стенки резервуара, проведен расчет днища и крыши. Так же определено кольцевое усилие и возникающее в нем напряжение, после чего сравнили его с допустимым.

|      |      |          |         |      |                                 |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Расчеты и технологическая часть | Лист |
|      |      |          |         |      |                                 | 61   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                 |      |

## 4 РАСЧЁТ НДС РЕЗЕРВУАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ANSYS

Над рассматриваемой территорией перенос воздушных масс обычно осуществляется в направлении с запада на восток, осенью наоборот, чаще вторгаются воздушные массы со стороны Баренцова и Карского морей. За счет того, что здесь располагается барическая ложбина, простирающаяся от Исландского минимума, в этом районе зимой отмечается усиление циклонической деятельности. Расчеты НДС выполнены в программном комплексе метода конечных элементов ANSYS.

Метод конечных элементов (МКЭ) – является численным методом решения дифференциальных уравнений деформируемой среды. Сущность МКЭ заключается в том, что, минуя дифференциальные уравнения деформируемой среды на основе вариационных принципов механики упругого тела, строятся процедуры для отыскания числовых полей неизвестных функций в деформируемом теле – перемещений, усилий, напряжений.

Рассматриваемый выше метод характерен для методов дискретного анализа. Суть метода заключается в том, что деформируемое тело целиком аппроксимируется через разделение ее на конечные элементы. При помощи специально выбранных функций, в каждом элементе показывается поведение среды. Сравнивая с другими численными методами, метод конечных элементов основывается на физической дискретизации исследуемого тела, подвергнутого деформации. Для данных функций необходимо создать такие условия, чтобы во всей среде присутствовала непрерывность описываемых характеристик.

При создании геометрических и численных моделей используемые программные комплексы различны. Так, например при создании геометрической модели, необходимы следующие параметры: выравнивание относительно осей, толщина, материал, параметры нелинейности.

|            |               |          |         |      |   |  |      |        |
|------------|---------------|----------|---------|------|---|--|------|--------|
|            |               |          |         |      | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа НДС-10000 кубических метров</i> |  |      |        |
| Изм.       | Лист          | № докум. | Подпись | Дата |   |  |      |        |
| Разраб.    | Ахметова М.Т. |          |         |      | Расчёт НДС резервуара с использованием программы ANSYS  | Лит.   | Лист | Листов |
| Руковод.   | Чухарева Н.В. |          |         |      |   |  | 62   | 145    |
| Рук-ль ООП | Шадрина А.В.  |          |         |      |   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |      |        |
|            |               |          |         |      |   |  |      |        |

При создании численной модели используется совершенно иное программное обеспечение. Для этой задачи, создан комплекс под названием ANSYS, который позволяет решать задачи механики твёрдого (деформируемого) тела, а также механики конструкций. В данной программе имеется специальный режим Interactive, с предустановленной графической оболочкой Workbench, позволяющей решить намеченные задачи. Решение этих задач проходит в три этапа, характерного логике метода. Рассмотрим эти этапы более подробно:

1) 1 этап – носит название «препроцессинг», где проходит создание базы конечных элементов рассматриваемого объекта. При этом, здесь, активно проходят следующие процессы: Устанавливается тип конечно элемента, относительно размерности и других свойств объекта, происходит настройка программы.

2) Выбирается тип физической задачи, например, теплопередача, механика твердого (деформируемого) тела, гидродинамика и др. Также задаются и другие характеристики элемента.

3) Контактные пары необходимо задать только в том случае, если мы имеем дело с контактной задачей. Кроме этого, устанавливаются ее характеристики, а также модель непосредственно самого контакта.

4) Для загрузки геометрической модели из графической среды Workbench широко применяется опция DesignModeller

5) На выбор определяющих уравнений метода конечных элементов влияет и те свойства, которые мы задаем, которые в свою очередь отвечают за модель материала, например, билинейный, упругопластичный, линейно-упругий и другие.

6) Необходимые параметры сетки мы задаем непосредственно при разбивке. Также выполняется процедура по разбиению геометрической модели на конечные элементы.

7) Выбираются свойства объекта, которые рассматривались в расчетах; указывается материал объекта. Стоит отметить, что свойства можно набрать, используя клавиатуру или загрузить из базы данных материалов программного обеспечения ANSYS.

После первого этапа следует процедура по приданию модели требуемых граничных и физических условий, а также решение задачи:

- 1) Первоначально необходимо задать граничные условия
- 2) Защемления, связи (перемещения), силы и другие
- 3) Необходимо выбрать один из двух методов анализов: статический или динамический
- 4) Подбирается наиболее предпочтительный способ решения системы уравнений методом конечных элементов
- 5) Указываются необходимые функции вычислительных процедур
  - 1) Число итераций, а также число шагов нагружения
  - 2) Происходит решение системы уравнений, которые мы получили методом конечных элементов, вследствие чего становится доступным файл с результатом. В нем мы можем увидеть вектор, найденных узловых перемещений (степеней свободы).

После второго этапа осуществляется анализ результатов расчета, а также постпроцессинговая обработка. Вычисленные физические величины методом конечных элементов, а именно деформация, перемещение, напряжение, выводится в виде анимации, графиков, таблиц, картинок. Для этого мы используем графическое окно ANSYS. После осуществления всех выше перечисленных процессов решения задачи, с помощью программного обеспечения ANSYS на локальном диске рабочего компьютера появляется база данных, которая несет в себе всю информацию о рассматриваемой модели. Для того чтобы продолжить исследовать модель, необходимо данную базу данных конвертировать в бинарный файл.

Рассмотрим более подробно вычисление функции собственной

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Расчёт НДС резервуара с использованием программы ANSYS | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 64   |

жесткости резервуара как основание вертикальной составляющей с помощью программного комплекса ANSYS для выбранной модели резервуара РВС-10000, в котором анализируем результаты полученных вычислений

Сегодня выделяют три основных типа жесткости: 1) абсолютно гибкие; 2) абсолютно жесткие; 3) тип конечной жесткости. Рассмотрим данные типы подробнее. К первому типу относят такие сооружения, которые под действием внешних нагрузок, следуют за осадками своего основания. Ко второму относят такие сооружения деформируемость, которых ничтожна мала в отличии с деформируемостью основания, и такое сооружение можно рассматривать как недеформированное. Ну и третий тип конечной жесткости, возникает в тех случаях, когда деформация сооружения и основания происходят совместно, что приводит к перераспределяю действующих напряжений. Вертикальные стальные резервуары по мнению многих исследователей относятся к сооружениям с высокой гибкостью, если так, то деформация стенки и днища происходит совместно с деформацией грунтового основания. Вдобавок считается, что все металлоконструкции, а также стенки деформируются на такую же величину, как и осадка основания, и в следствии чего приводит к разрушению, из- за внушительных пластических деформаций в металле.

Многие исследователи относят резервуары к сооружениям с высокой гибкостью, в этом случае предполагается, что днище и стенка резервуаров деформируются совместно с грунтовым основанием, на которое они опираются. При этом считается, что стенка и все металлоконструкции деформируются на такую же величину вслед за осадкой основания, что приводит к их разрушению вследствие значительных пластических деформаций в металле. Вместе с тем, следует отметить, что жесткость цилиндрической оболочки вращения, а так же окрайки, кольца жесткости, балок и настила крыши, мы не учитывали.

Влияние нагрузок, возникающих во время эксплуатации резервуара, распределяются как по центральной части днища, так и по железобетонному фундаментному кольцу, так же следует отметить совместную работу различных

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Расчёт НДС резервуара с использованием программы ANSYS | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 65   |

элементов конструкции вертикального стального резервуара, а именно окрайки, стенок, балочной конструкции, настила кровли и непосредственно само кольцо жесткости. В данной работе задача заключалась в вычислении значения перемещений элементов конструкции резервуара с отклонением от вертикали, а также в вычислении напряжений, которые возникают во время эксплуатации резервуара.

На рисунке 12 изображены зоны деформации стенок РВС 10000. Из рисунка видна цветовая карта отклонений между идеальной поверхностью и фактической. Зоны несоответствия поверхностей окрашены в соответствии с цветовой картой. Максимальное отрицательное отклонение от вертикали соответствует поясу 5 вблизи шва №9 и равно -61 мм. Максимальное положительное отклонение от вертикали располагается в области пояса 5 в районе шва №3 и составляет 32 мм. Отклонения от вертикали характерны для всего резервуара.

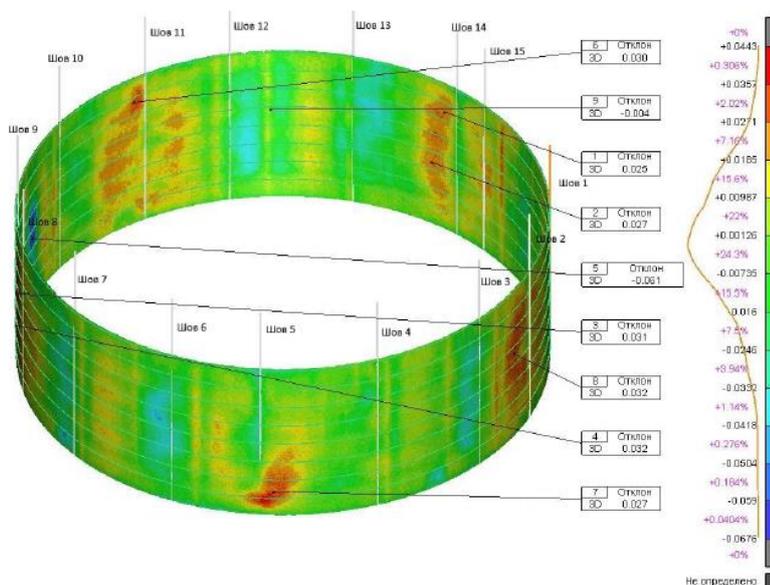


Рисунок 12– Зоны деформации стенок резервуара

На рисунке 13 изображены зоны деформации дна резервуара. Из рисунка видно максимальные отрицательные и максимальные положительные отклонения дна.

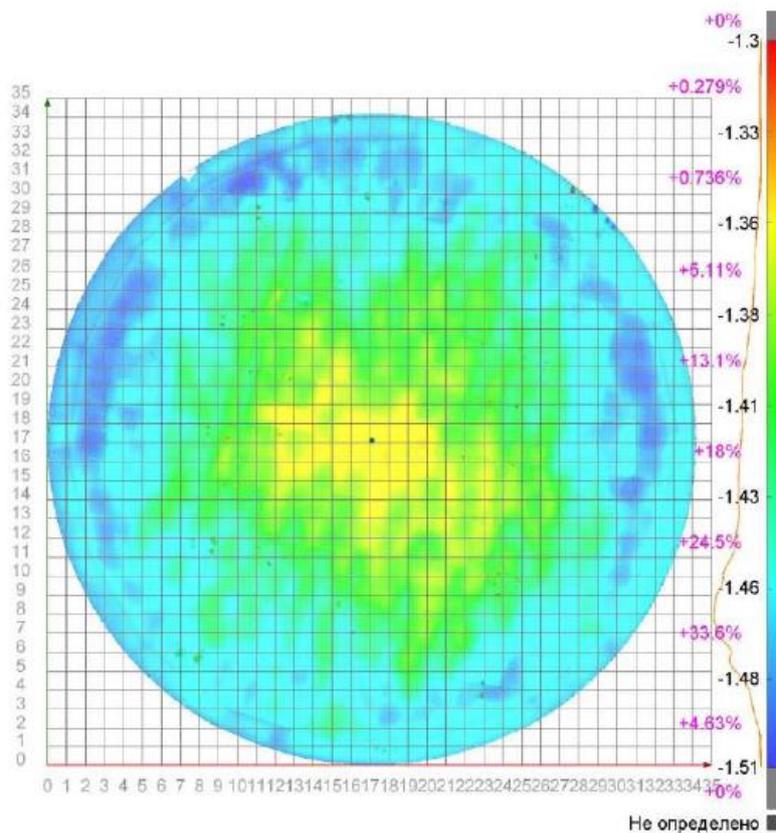


Рисунок 13– Зоны деформации дна резервуара

На рисунке 14 приведены результаты внутреннего сканирования РВС. На рисунке показаны внутренний регистр подогрева и прочие инженерные решения элементов конструкции.

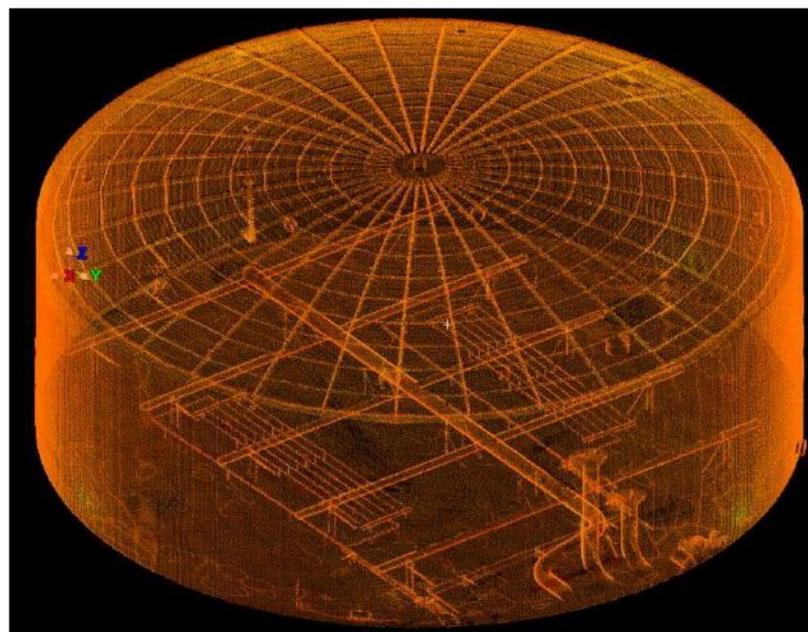


Рисунок 14 – Результаты сканирования внутреннего пространства РВС

В экспериментальном исследовании собственной жесткости поочередно выполняются расчеты НДС резервуара. К резервуару прикладываются нагрузки от веса стационарного оборудования, снега; резервуар упруго закреплен по нижним плоскостям центральной части днища и фундаментного кольца.

На рисунках 15, 16, изображена картина напряжений по критерию Мизеса. Максимальные напряжения по картине составляют 135 МПа. Допустимые напряжения 188,17.

Таблица 13 – Характеристики объекта

| Характеристика               | Размерность       | Значение |
|------------------------------|-------------------|----------|
| Марка стали                  |                   | 09Г2С    |
| Модуль упругости Юнга        | ГПа               | 2.1      |
| Коэффициент Пуассона         |                   | 0.3      |
| Ускорение свободного падения | м/с <sup>2</sup>  | 9.81     |
| Высота разлива нефтепродукта | м                 | 10.8     |
| Плотность нефтепродукта      | кг/м <sup>3</sup> | 860      |
| Толщина листов днища         | мм                | 8        |
| Толщина листов крыши         | мм                | 6        |
| Толщина листов 1 пояса       | мм                | 13       |
| Толщина листов 2-8 поясов    | мм                | 12       |

Результаты расчёта отображены на рисунках 15-20.

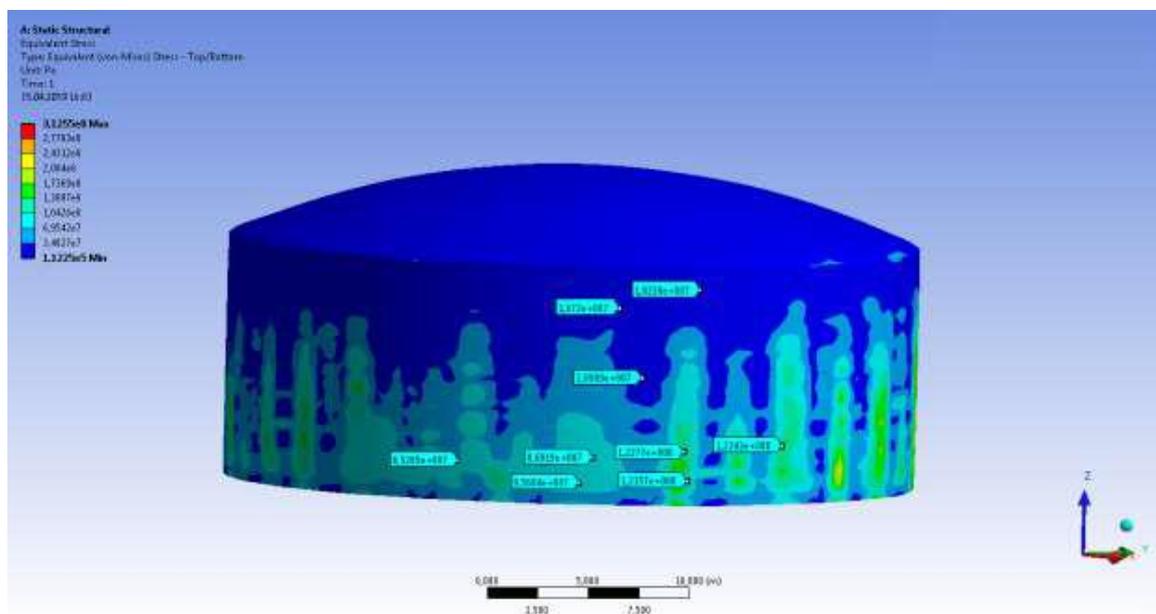


Рисунок 15 – Картина полей напряжений по критерию Мизеса

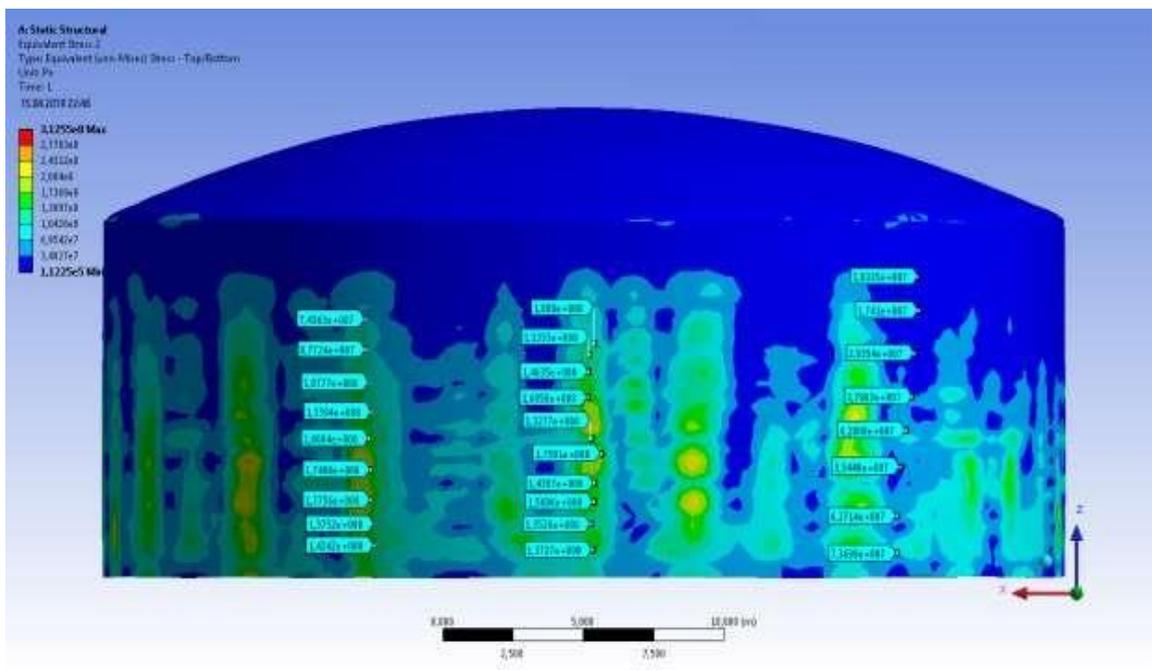


Рисунок 16 – Картина полей напряжений по критерию Мизеса

На рисунках 17-18 представлена картина распределения общих перемещений в листах РВС. Из расчета видно, что величина общих перемещений не превышает 29 мм.

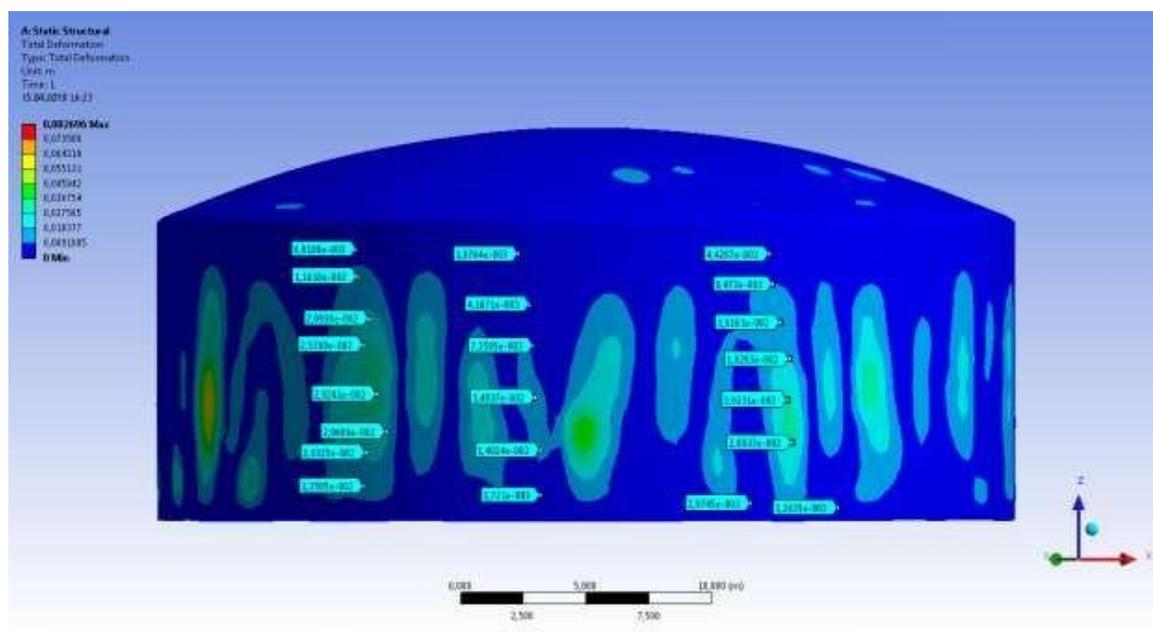


Рисунок 17 – Картина полей общих перемещений

|      |      |          |         |      |
|------|------|----------|---------|------|
|      |      |          |         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

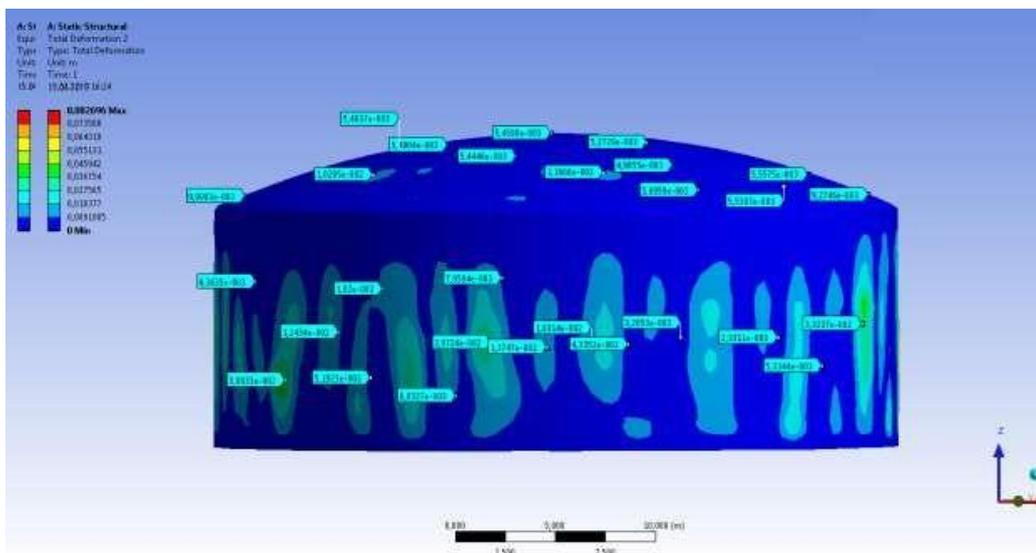


Рисунок 18 – Картина полей общих перемещений

В результате расчета необходимо получить значения перемещений листов поясов и их картину их напряжений в радиальном направлении. Для этого в решении была введена дополнительная цилиндрическая система координат. На рисунках 19 – 20 приведены графические результаты данных расчетов. Перемещение листов поясов в радиальном направлении не превышает 3 мм. Значения напряжений составляют порядка 90 Мпа.

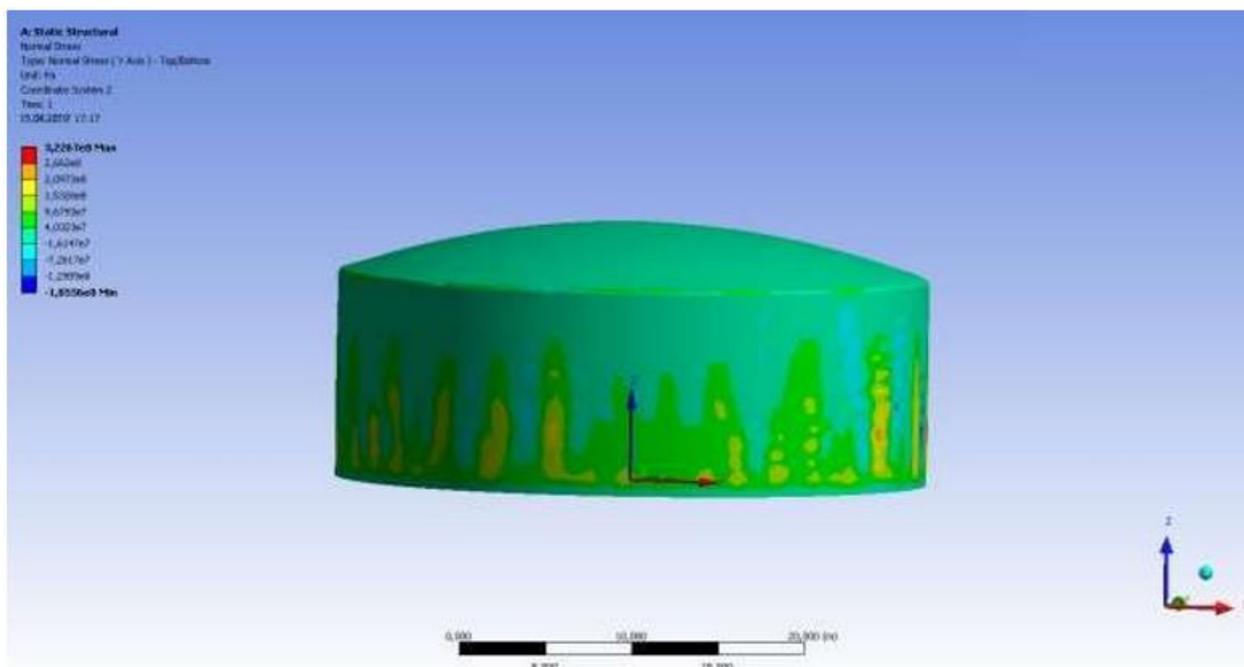


Рисунок 19 – Картина полей перемещений в радиальном направлении

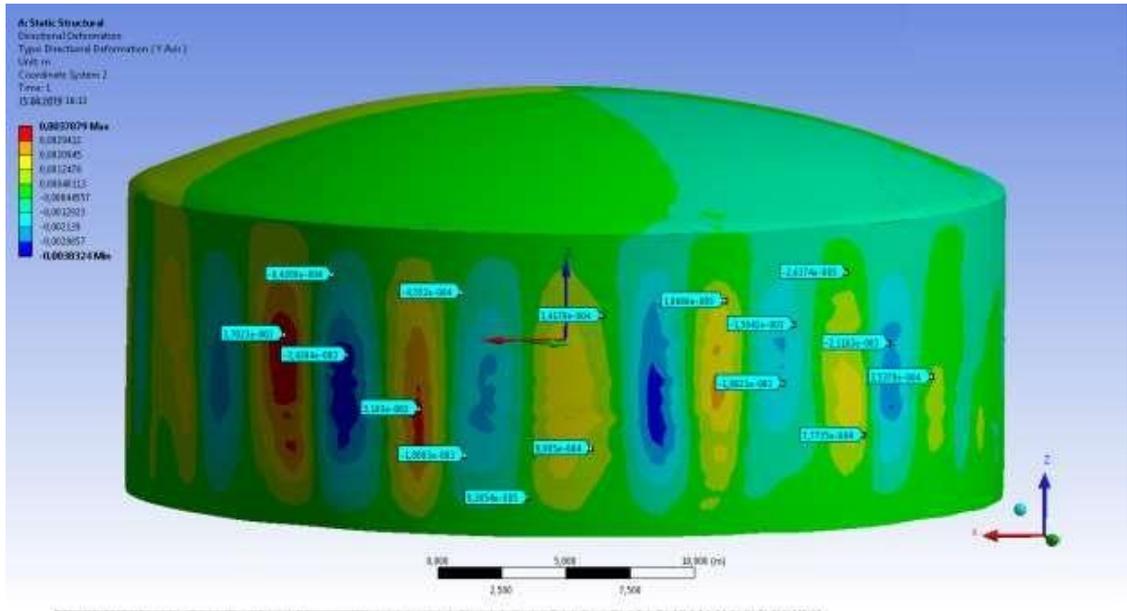


Рисунок 20 – Картина полей перемещений в радиальном направлении

Картина общих деформации в металле поясов, рассчитанных по критерию Мизеса представлена на рисунках 21 – 22. Величина деформаций в пределах 2 мм.

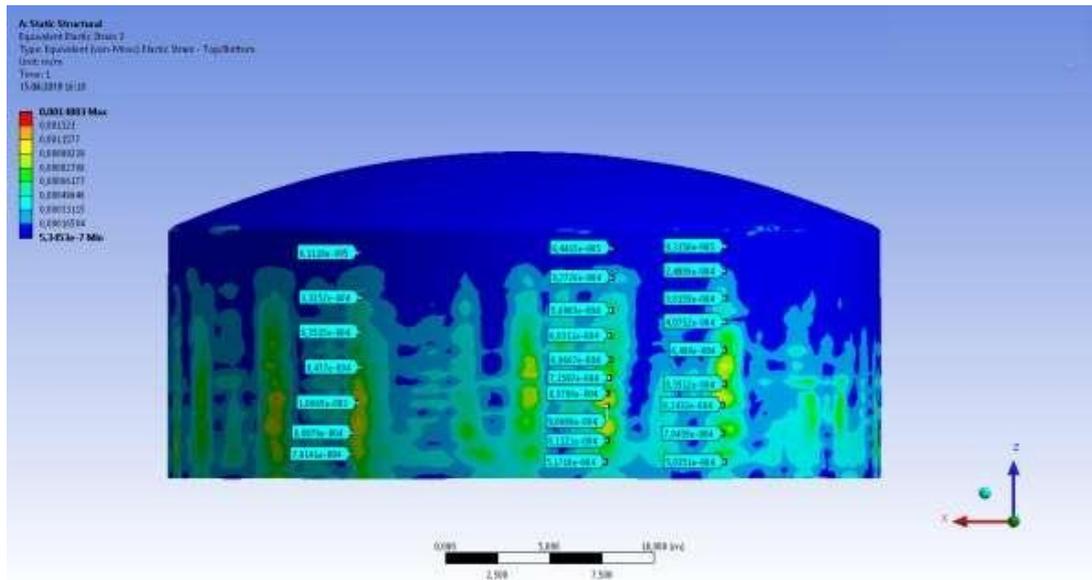


Рисунок 21 – Картина полей деформаций по критерию Мизеса

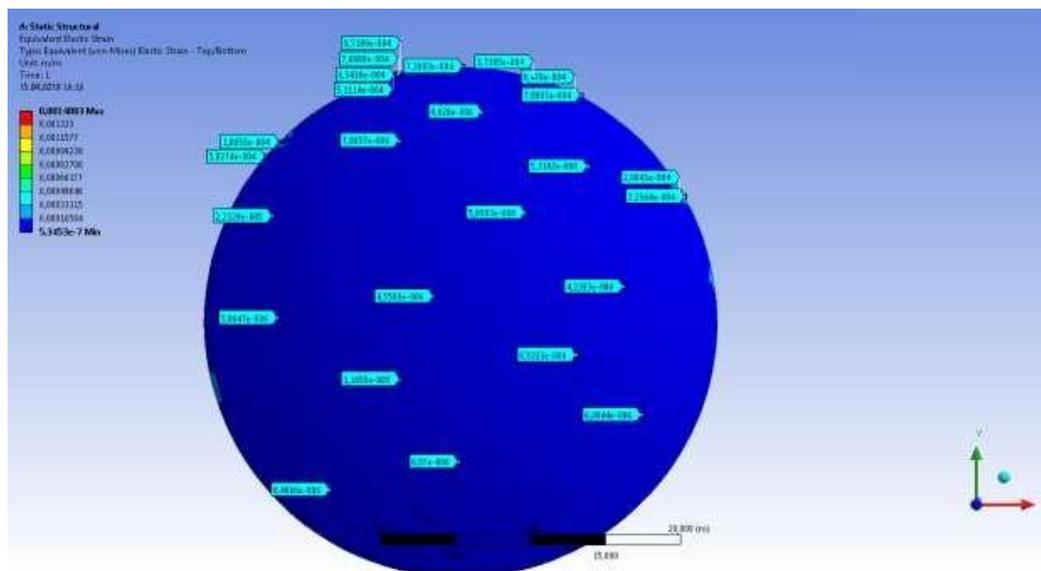


Рисунок 22 – Картина полей деформаций по критерию Мизеса

Вывод по разделу: в результате проведенных исследований в соответствии с требованиями п.2.1.8 «Нормы проектирования Стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 кубических метров РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-4» проведены расчеты на заполнение пространства резервуара нефтепродуктами. Результаты: максимальное напряжение 135 МПа выявлены в районе приемо-раздаточного патрубка, но не превышают допустимые 188,17 МПа. Рекомендовано для продления срока службы разработать предложение по компенсации нагрузки на резервуар ПТП.

## 5 СИСТЕМА КОМПЕНСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЗЕРВУАРА

### 5.1 Состав и основные технические характеристики СКНР

СКНР используется на обвязки технологических трубопроводов и патрубков приемораздачи (ППР) резервуаров. СКНР применяется для резервуаров различных типов с высотой стенки до 18, м и номинальным объемом 10-50 тыс.м<sup>3</sup>. при условном давлении до 1,0 МПа и диаметром от 400-700 мм.

СКНР обеспечивает снижение нагрузок на патрубки приемораздачи резервуаров возникающие при осадке основания резервуаров и опор ТТ, деформациях стенки резервуара и трубопроводов при изменении давления в трубопроводе, температуры воздуха и продукта, плотности продукта, изменении веса трубопровода при его заполнении и опорожнении.

Основные параметры и технические характеристики СКНР приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики СКНР

|   | Типоразмер |     |     |     |
|---|------------|-----|-----|-----|
|   | 400        | 500 | 600 | 700 |
| Компенсирующая способность трубопроводов СКНР (максимальная пространственная деформация), не менее: |            |     |     |     |
| Вертикальная (сдвиговая), мм  | ±160       |     |     |     |
| Горизонтальная (осевая), мм   | ±50        |     |     |     |
| Угловая (в вертикальной плоскости), фад   | ±1,3       |     |     |     |
| Поворот вокруг оси трубопровода СКНР (кручение), град   | ±0,2       |     |     |     |

|   |      |               |         |      |
|---|------|---------------|---------|------|
| <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |      |               |         |      |
| Изм.  | Лист | № докум.      | Подпись | Дата |
| Разраб.   |      | Ахметова М.Т. |         |      |
| Руковод.  |      | Чухарева Н.В. |         |      |
| Рук-ль ООП  |      | Шадрина А.В.  |         |      |
| <b>Система компенсации напряжений резервуара</b>  |      |               |         |      |
|   |      |               | Лит.    | Лист |
|   |      |               |         | 73   |
|   |      |               | Листов  |      |
|   |      |               | 145     |      |
| Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12  |      |               |         |      |

|   |       |       |       |        |
|---|-------|-------|-------|--------|
| Рабочая нагрузка на подвесках (поддерживающее усилие), не менее:                            |       |       |       |        |
| Подвеска 1, кН  | 8,9   | 12,3  | 16,1  | 24,1   |
| Подвеска 2, кН  | 7,2   | 10,1  | 13,2  | 16,9   |
| Нагрузка на ППР резервуара, при заявленной деформации и рабочем давлении 0,4 Мпа, не более: |       |       |       |        |
| Вертикальное усилие, кН   | ±3,1  | ±4,7  | ±6,7  | ±9,8   |
| Горизонтальное усилие, кН   | ±0,4  | ±0,7  | ±1,1  | ±1,5   |
| Осевое усилие, кН   | ±1,3  | ±2    | ±4,4  | ±6,7   |
| Изгибающий момент в горизонтальной плоскости, кН*м  | ±0,9  | ±1,8  | ±4,6  | ±6,5   |
| Крутящий осевой момент, кН*м  | ±2,1  | ±3,5  | ±4,7  | ±5,5   |
| Присоединительные размеры трубопровода СКНР, мм под сварку                                  |       |       |       |        |
| Диаметр патрубка, мм/толщина стенки патрубка, мм  | 426/8 | 530/8 | 630/8 | 720/12 |
| С фланцами  |       |       |       |        |
| Габаритные размеры СКНР (без подвесок), мм, не более  |       |       |       |        |
| Длина, L  | 7000  |       |       |        |
| Ширина, B   | 3000  |       |       |        |
| Высота, H   | 2000  |       |       |        |
| Масса, кг, не более   | 2790  | 3470  | 4390  | 4860   |

Система СКНР состоит из следующих элементов: трубопроводного компенсатора, опоры, подвесок, а также отвода и ригелей. Компенсатор является соединяющим элементов между ППР резервуара и ТТ и является трехшарнирным элементом. Такая конструкция состоит из трех карданных сильфонов, отвода и трубных ставок. Для безопасной доставки и разгрузки компенсаторов они оснащаются стопорными болтами, которые извлекаются при монтаже. Шарнирное соединение создается с помощью осей карданов

|      |      |          |         |      |   |            |
|------|------|----------|---------|------|---|------------|
|      |      |          |         |      | Система компенсации напряжений резервуара | Лист<br>74 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   |            |

компенсаторов. Общий вид СКНР приведен на рисунке 23.

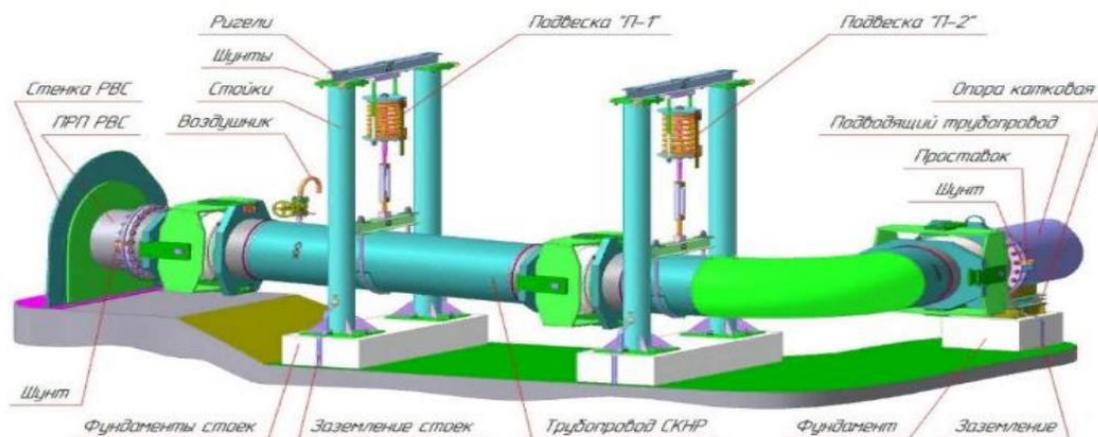


Рисунок 23 – Общий вид СКНР, смонтированной на РВС

Опора системы СКНР создается с помощью подвесок пружинного типа, закрепляемых с помощью ригелей и катковой опоры, которая располагается на двух стойках по обоим сторонам от ТТ. Для выпуска газа в системе предусмотрен воздушник, который располагается в наивысшей точке трубопровода. В качестве воздушника используется обычный шаровый кран. Пружинная подвеска выполняется из пружинного блока, балки и хомута с накладкой. Подвеска нужна для исключения смещения ТТ в вертикальном и горизонтальном направлении, а также компенсации нагрузок от веса трубы.

Сам пружинный блок состоит из: двух опор подвижного и неподвижного типа, пружины сжатия, а также специального узла для обеспечения контроля нагрузки на подвеску (в виде особой линейки). В данном случае нагрузка от веса трубопровода подразделяется на монтажную – при пустой трубе и рабочую нагрузку, при наличии рабочей среды в СКНР. Значение монтажной нагрузки обозначается рисккой «М» и выполнена в форме круглого отверстия. Величина рабочей нагрузки натяжения пружинного блока указывается рисккой «Р». Пределы допустимых диапазонов отклонения рабочих нагрузок при гидростатических и температурных деформациях также обозначены на узле контроля. Если значения нагрузки выходит за пределы диапазона, то это может означать, что произошла осадка конструкции резервуара, ТТ или стоек.

Закрепления пружинных подвесок выполняется с помощью ригелей,

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Система компенсации напряжений<br>резервуара | Лист |
|      |      |          |         |      |  | 75   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |      |

выполненных на стойках. Стойки заземляются к контуру заземления резервуара и закрепляются за счет болтов на фундаментах. ТТ подходящий к компенсаторам размещается на опоре. Она позволяет создать условия перемещения составных частей трубопровода в горизонтальной плоскости по двум направлениям. Система катковой опоры состоит из: двух блоков катков, опоры трубопровода и опорных плит. Также в составе опоры имеются шпильки, которые используются для перемещения и монтажа. Места строповки и установки хомутов, центра тяжести указываются на поверхности трубопровода. Электрические контакты элементов СКНР оборудуются шунтирующими перемычками.

Принцип работы СКНР заключается в деформации сильфонных компенсаторов за счет чего снижается нагрузки на систему «резервуар-трубопровод». Перемещение в угловом направлении элементов СКНР осуществляется поворотом в карданном соединении. Катковая опора обеспечивает перемещение элементов СКНР относительно друг друга в горизонтальной плоскости, а пружинных подвески допускают перемещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях [18].

## 5.2 Опоры трубопровода

Опоры трубопроводов составляют обязательную часть трубопроводных систем и используются для в различных технологических областях. Такие сооружения используются на предприятиях ТЭС, АЭС, а также газопроводов и нефтепроводов. Назначением опор трубопроводов является его закрепление, а также уменьшение осевых и поперечных нагрузок.

Опоры предпочтительно располагать в местах наибольших нагрузок: запорной арматуре и местах с большим гидравлическим сопротивлением. Диапазон трубопроводных опор охватывает весь спектр диаметров трубопроводов, при условии, что материал трубы соответствует материалу опоры.

Трубопроводные опоры в зависимости от их назначения и конструкции подразделяются на неподвижные и подвижные. Трубы имеют следующие

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Система компенсации напряжений<br>резервуара | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 76   |

способы крепления: приварной, при помощи скоб, хомутов. Неподвижные опоры фиксируют положение трубопровода и компенсирует различные типы нагрузок: осевые, тепловые, гидравлические и т.д. Трубопровод и данный тип опор соединяются при помощи сварки или болтов. Для исключения эффекта выскальзывания трубопровода в опоре при хомутовом креплении применяются дополнительные упоры. Число крепежных элементов зависит от амплитуд нагрузок, действующих на опору. Наиболее распространенные конструкции неподвижных опор приведены на рис 24.

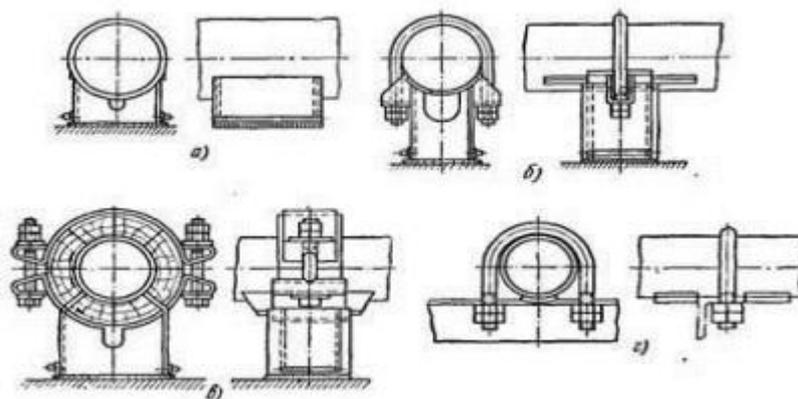


Рисунок 24 – Конструкции неподвижных опор трубопровода, где: а – приварная; б – хомутовая; в – хомутовая для трубопроводов с хладагентом; г – бескорпусная.

Для крепления ТТ на нужной высоте при возможности его свободного перемещения из-за колебаний температур применяются подвижные опоры. Данный тип опор способен воспринимать только вертикальную нагрузку под весом трубопровода [19]. Подвижные опоры бывают нескольких видов: катковые, скользящие, пружинные и др. Наиболее используемым является скользящий тип опор. Такие опоры скользят параллельно с трубопроводом по поверхности несущих элементов. Катковый тип опор используется с целью снижения влияния сил трения между поверхностью опоры и пятой. В направляющих опорах трубопровод проскальзывает внутри направляющих планок по несущей конструкции, а для избежания поперечных перемещений используется хомут. Пружинные опоры используются в конструкции трубопроводных систем, испытывающих значительные вибрационные нагрузки.

При необходимости обеспечения перемещения параллельно двум горизонтальным осям трубопроводов больших диаметров в местах резких поворотах применяются шариковые опоры.

Наиболее распространенные типы подвижных опор приведены на рис. 25.

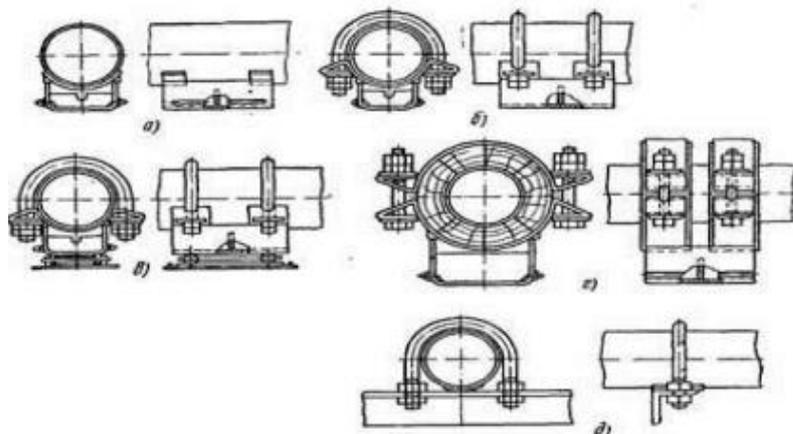


Рисунок 25 – Конструкция подвижных опор трубопроводов, где: а – приварная скользящая; б – хомутовая скользящая; в – хомутовая скользящая двухкатковая; г – хомутовая скользящая для трубопроводов с хладагентом; д – направляющая

Для обеспечения максимальной подвижности горизонтальных трубопроводов рекомендуется применение подвесных опор. Такие опоры состоят из: консолей, кронштейнов и тяг. Для особых случаев используются тяги с возможностью регулирования муфт по длине с различными резьбами.

Основные конструкции подвесок приведены на рис. 26.

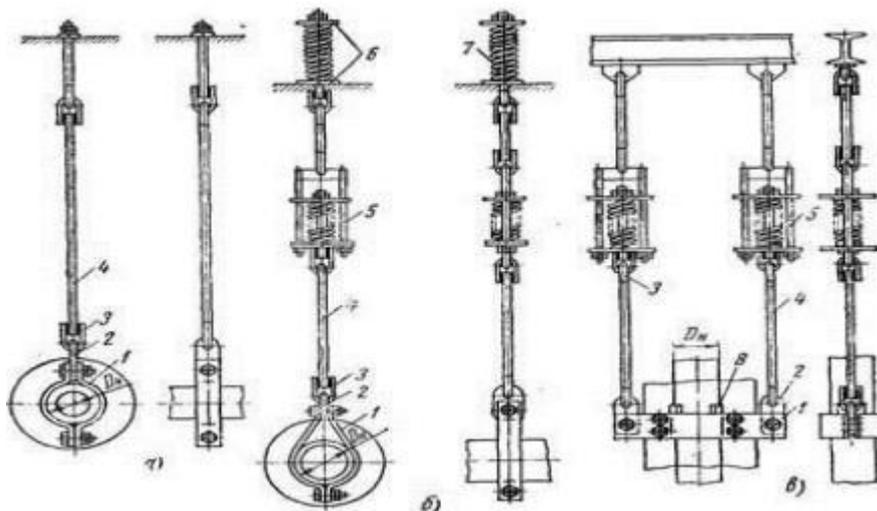


Рисунок 26 – Конструкции подвесок, где: а) жесткая для горизонтальных трубопроводов; б) пружинная для горизонтальных трубопроводов; в) пружинная для вертикальных трубопроводов; 1 – хомут; 2 – серьга; 3 – ушко; 4 – тяга; 5 – блок пружин; 6 – диски; 7 – пружина; 8 – упор

Если горизонтальные трубопроводы имеют вертикальные части, то их закрепляют на пружинных опорах. Для таких трубопроводов применение жестких подвесок исключается, так как в таких условиях температурные расширения будут распределяться неравномерно. Такие опоры характеризуются значительной эффективностью даже при больших вибрационных нагрузках. Для опорных несущих сооружений используются кронштейны, консоли, эстакады [20].

В составе СКНР используются опоры подвесного типа, так как трубопроводам СКНР необходимо иметь максимальную подвижность.

### **5.3 Анализ текущего состояния и проблем сильфонных компенсаторов**

Трубопроводные системы подвергаются различным нагрузкам и одним из эффективных способов повышения надежности и снижения капитальных затрат является применение компенсаторных конструкций. В качестве таких устройств применяются сильфонные компенсаторы, которые благодаря высоким технико-экономическим и эксплуатационным параметрам отличаются большим спросом в различных отраслях производства.

Материалы, из которых изготавливаются компенсаторы, подвергаются влиянию температуры, за счет чего происходит их расширение и сжатие. Сильфонные компенсаторы являются элементами трубопроводной системы, которые поглощают такие изменения и позволяют производству работать без остановок и избегать аварийных ситуаций [3,21]. При транспортировке продуктов происходит теплообмен между стенками трубы и соответственно транспортируемой среды, из-за которого происходит нагревание и удлинение трубопроводов. Конечные точки всех любого трубопровода закрепляются на различных опорах и поэтому при тепловом удлинении трубы в ней возникают напряжения [3]. При очень больших значениях напряжений теплового удлинения трубопровода может произойти разрушение как самих трубопроводов, так и деформация оборудования и опор.

|             |             |                 |                |             |  |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--|-------------|
|             |             |                 |                |             | <b>Система компенсации напряжений резервуара</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | резервуара                                       | 79          |

Основной областью применения сильфонных компенсаторов являются трубопроводные системы. Напряжения в трубопроводе могут появляться благодаря следующим факторам:

- внутренние либо наружные давления при рабочей температуре;
- вес трубопровода и транспортируемых материалов;
- принудительное смещение трубопровода в связи внешних помех;
- тепловое расширение.

Количественные характеристики напряжений, возникающих в трубах зависят от следующих причин:

- силы, направленной от источника внешних помех;
- деформаций, обусловленных наружными сторонними предметами;
- гибкости материала трубы.

Для случаев, когда значения напряжений, перемещений или влияние сил находятся выше предельных значений потребуется увеличить гибкость трубопровода. В основном это достигается за счет:

- изменения общей конструкции трубопровода;
- использования элементов, имеющих высокую гибкость.

Первый вариант решения проблемы зачастую приводит к потерям температуры и давлению и будет приводить к увеличению затрат, более эффективным вариантом может являться установка сильфонов [22]. Преимущество сильфонных конструкций заключается в отсутствии дополнительного обслуживания в течении эксплуатации. Сильфон является неремонтируемой конструкцией и поэтому период его использования характеризуется сроком безремонтной эксплуатацией трубопроводов, в системе которых он применяется. Также срок службы сильфонов преимущественно зависит от материалов изготовления [23].

Сильфонные компенсаторы можно разделить на три группы в зависимости от типа смещений, которые они должны поглотить [24;25] (рис. 27 ):

- осевые;

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Система компенсации напряжений резервуара | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 80   |

- сдвиговые;
- угловые.

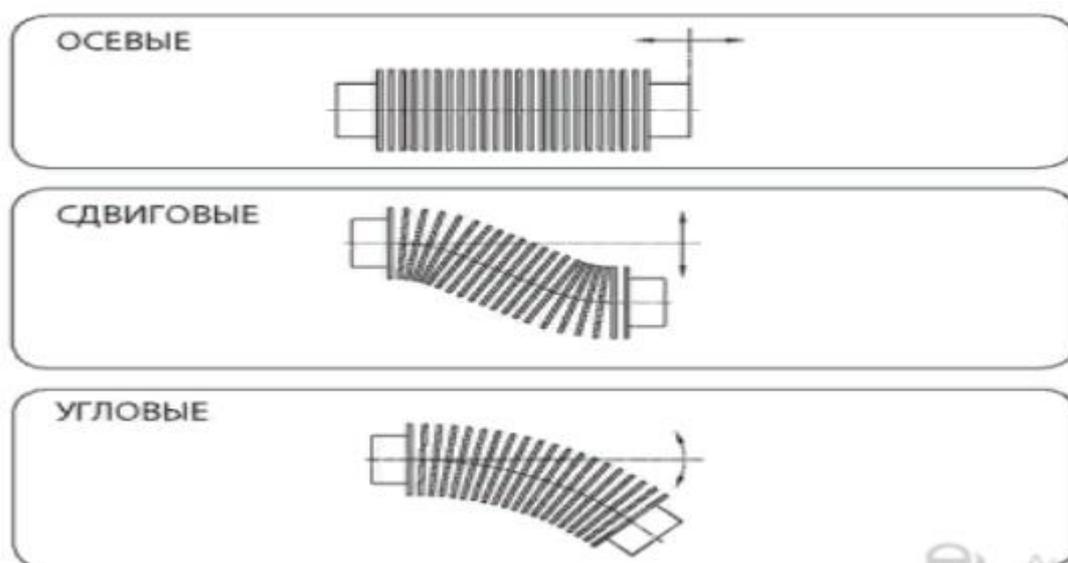


Рисунок 27 – Виды сильфонных компенсаторов

Каждый вид сильфонных компенсаторов имеет различные преимущества в зависимости от его конструкции и области применения. Правильно подобранные и смонтированные компенсаторы должны обеспечивать соединения высокой надежности. Все виды сильфонов указанных выше применяются для компенсаций нагрузок, связанных с вибрацией и расширением. Однако для случаев если типовые конструкции компенсаторов не соответствуют требованиям или при рабочем давлении, превышающем допустимые значения, возможно использовать универсальные сильфонные компенсаторы [24,25]. Такие компенсаторы являются сбалансированными давлениями и применяются, когда требуется поглотить очень большие сдвиговые перемещения без применения необходимого числа направляющих (рис. 28).

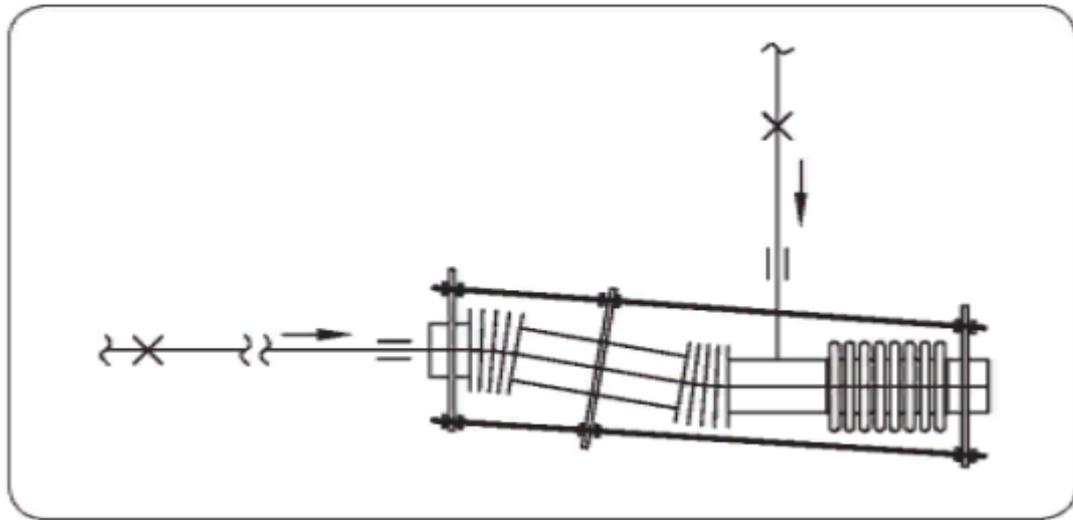


Рисунок 28 – Компенсация больших сдвиговых расширений книверсальным сифонным компенсатором

Сифонные угловые компенсаторы, имеющие в своей конструкции карданный подвес, позволяют поглощать угловые смещения в нескольких плоскостях за счет наличия карданного шарнира. При использовании такого типа компенсатора исключается необходимость монтирования крепежных устройств. Подвесное кольцо, а также шарнирные элементы спроектированы снижать нагрузку на торцы растягивающего соединения, происходящую из-за внутреннего давления и внешних сил.

Сифоны с подвеской предпочтительно использовать в паре, как и одношарнирные сифоны, для поглощения угловых перемещений во всех плоскостях для компенсации силы тяги. Данный компенсатор имеет в своем составе СКНР.

Сифонные компенсаторы позволяют компенсировать не только нагрузки, вызванные температурными колебаниями, но также и вибрацию. Такие устройства отличаются высокой эффективностью при вибрациях высокой частоты и малой амплитуде. При вибрациях со значительной амплитудой, как например в поршневом двигателе, более чем 10% от суммарных перемещений компенсатора, такие устройства не эффективны [3].

Данные о причинах повреждений сифонных компенсаторов показывают, что основными факторами разрушений являются [23,26]:

- Повреждение конструкций опор;
- Нарушение соосности ГТ из-за их осадки при эксплуатации;
- Коррозия гофр компенсаторов.

Срок службы сильфонных компенсаторов может быть снижен по следующим причинам:

- Сильфонные компенсаторы не обеспечивают полную герметичность от воздействия грунтовых вод;
- Долгое нахождение компенсаторов под открытым небом, без предварительной обработки антикоррозионным покрытием;
- Нарушение технологии СМР может привести к попаданию жидкости под изоляционный слой [26].

Для сохранения длительного срока работы сильфонов обязательно соблюдать все требования к производству, перевозке и установке, а также выбрать оптимальные для данной системы трубопровода компенсаторов.

#### **5.4 Циклический срок работы сильфонного компенсатора**

Основной причиной большинства отказа оборудования, возникающего при эксплуатации, является усталость металлов. При достаточно малом числе циклов нагружения разрушение происходит из-за развитых повторяющихся пластических деформациях [6].

Надежность конструкций при исследовании многоциклового прочностии в основном определяется на основе информации о циклах напряжений. Каждый сильфон отличается индивидуальной зависимостью циклов от амплитуды. Она характеризуется количеством, толщиной, диаметром и геометрическими параметрами гофров [27].

Сильфонный компенсатор характеризуется высокой эластичностью и изменяет геометрические размеры в зависимости от нагрузок, поэтому перемещение компенсатора возможно вычислить численно. Если известна температура и показатель теплового расширения можно рассчитать все возможные перемещения сильфона.

На рис. 29 показано, как обычной осевой сальфонный компенсатор изменяется в 2-х направлениях при колебаниях температуры [5].

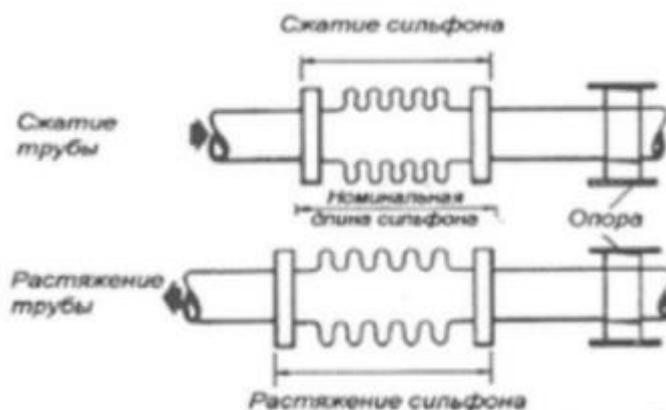


Рисунок 29 – Работа сальфонного компенсатора

Ресурс сальфон – это время его безаварийной работы с начала эксплуатации с определенной компенсирующей характеристикой и давлении до момента его перехода в предельное положение. По этой причине все трубопроводные системы, в которых размещены сальфонные компенсаторы, работают циклически, а их ресурс определяется значением рабочих циклов [5].

Рабочий циклов трубопровода состоит из подачи горячего продукта и последующий подогрев трубы, эксплуатацию при установившемся режиме и последующую остановку и охлаждение системы. Сальфонный компенсатор в свою очередь в течении каждого цикла подвергается различным нагрузкам.

Оценка параметра крепости в течении рабочего цикла определяется по графикам тестирования натуральных образцов. Амплитуда разрушающей нагрузки определяется с учетом того, что материал работает в упругой области [5].

Ключевой параметр работы сальфона – это число растяжений или сжатий. С помощью него находится точное соотношение между перемещением и давлением. Давление и циклический срок работы имеют выраженную зависимость, период работы сальфонного компенсатора увеличивается при уменьшении перемещения, а при повышении температуры снижается передвижение [4].

Для правильного выбора конструкции сальфонного компенсатора и

определения настоящего времени его работы необходимо применять методику выбора компенсаторов учитывающую его длину и число циклов.

Таким образом, для компенсации неблагоприятных воздействий перемещений трубопроводов существуют сифонные компенсаторы. Для точного выбора компенсатора и установления настоящего времени работы можно воспользоваться методикой выбора компенсаторов в зависимости от числа циклов и длины компенсатора, поэтому зная условия эксплуатации сифонного компенсатора можно установить нужное значение ресурса конструкции

### **5.5 Факторы, влияющие на работу сифонных компенсаторов**

Основным элементом сифонного компенсатора является сифон – железная оболочка в виде волна, характеризующаяся большой гибкостью и способная смещаться в различных направлениях под воздействием различных нагрузок [28].

При проектировании данных элементов большое внимание уделяется давлению в трубопроводной система. Необходимо различать рабочее, пробное и проектное давление, которое будет испытывать на себе компенсатор. Этот фактор должен обязательно учитываться при выборе толщины сифона, а также типа соединения компенсатора. Чем выше давления, тем толщина материала соответственно больше. Сифон проектируется таким образом, чтобы выдерживать наиболее высокое давления из приведенные выше. Если давлений испытаний выше рабочего давления в 1,5 раза, то в данном случае сифон будет иметь номинальное давление выше, чем в ходе его эксплуатации [28,29].

Для точного проектирования компенсирующих параметров сифонного компенсатора необходимо определить силу жесткости. Данный показатель определяет противодействие системы точно также, как и пружина. Для снижения показателей силы жесткости для исключения повреждений компенсатора, ограничиваются нагрузки в крепежных системах [30].

Сифон представляет собой активную конструкцию и меняет свою форму

|             |             |                 |                |             |  |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--|-------------|
|             |             |                 |                |             | <b>Система компенсации напряжений<br/>резервуара</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |  | 85          |

от усилий, прилагаемых к нему, поэтому при известных условиях, таких как коэффициент теплового расширения и значения температуры, можно рассчитать перемещения, приходящиеся на сильфон.

Перемещение, вызванное внешней нагрузкой, должно обязательно учитываться, так оно очень часто выступает источником смещений. Вибрация в трубопроводных системах, причиной которой могут являться насосы или иные её элементы, должна быть определена при проектировании. Вид вибрации зависит от частоты и коэффициента колебаний. Данный параметр является критическим на этапе расчета и может существенно сократить срок эксплуатации сильфона при его неправильном определении.

В некоторых случаях сильфоны используются для поглощения как вибрационных, так и тепловых нагрузок.

Температурные колебания компенсатора проявляются в его линейном расширении. Для правильного проектирования сильфона необходимо определить минимальную максимальную, а также установочную температуру. Диапазон изменения температур, является критическим параметром, так как оказывает критическое воздействие на компенсирующую способность сильфона и, следовательно, на срок эксплуатации. Материал компенсатора должен выбираться в соответствии с этими параметрами.

В компенсаторах изготовленных из хромоникелевых сталей при наличии хлоридов и кислорода может происходить межкристаллитная коррозия. В данном случае она вызвана не только из-за наличия данных веществ в воде, но и по причине напряжений в металле.

Компенсаторы, установленные на трубопроводных системах, являются источником местных сопротивлений, которые нужно обязательно учитывать при проектировании трубопровода. При эксплуатации сильфонных компенсаторов с открытой полостью происходит разделения продукта и создаются завихрения в каждом гофре и происходит потеря энергии. При входе в компенсатор энергия расходуется на расширение потока и на закручивание вихря, а при выходе из

него на сужение, рис. 30 [9].

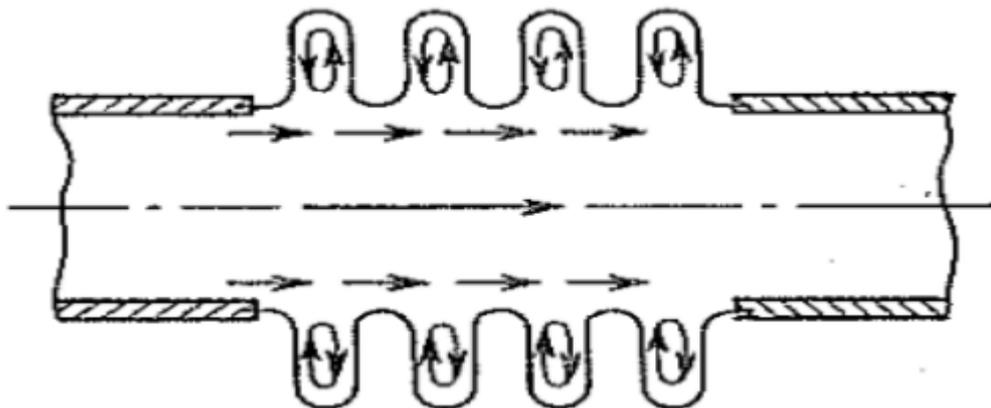


Рисунок 30 – Схема течения потока в сильфонном компенсаторе [9]

**Выводы:** В данной главе были рассмотрены состав и основные технические характеристики СКНР. Были определены основные функции и принцип работы. Далее были рассмотрены трубопроводные опоры в зависимости от их назначения и конструкции включая опоры, использующиеся в СКНР.

## ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                 |
| 2БМ12         | Ахметова Мадина Талгатовна |

|                                |              |                                  |   |
|--------------------------------|--------------|----------------------------------|---|
| <b>Школа</b>                   | <b>ИШПР</b>  | <b>Отделение (НОЦ)</b>           | Отделения<br>нефтегазового<br>дела  |
| <b>Уровень<br/>образования</b> | Магистратура | <b>Направление/специальность</b> | 21.04.01<br>«Нефтегазовое<br>дело» профиль<br>«Надежность и<br>безопасность<br>объектов<br>транспорта и<br>хранения<br>углеводородов» |

Тема ВКР:

|   |   |
|---|---|
| <b>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС 10000 кубических метров</b>   |   |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |   |
| <p><b>Введение</b></p> <p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации</p>   | <p><i>Объект исследования: резервуар вертикальный стальной 10000 м<sup>3</sup></i></p> <p><i>Область применения: предназначен для приёма, хранения, подготовки, учёта (количественного и качественного) и выдачи нефти и нефтепродуктов</i></p> <p><i>Рабочая зона: полевые условия в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе, Красноярского края на территории Сузунского месторождения</i></p>   |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:  |   |
| <p><b>. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b></p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p> | <p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• специальные правовые нормы трудового законодательства (на основе инструкции по охране труда при производстве инженерно-геологических изысканий);</li> <li>• организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (организация санитарно-бытового обслуживания рабочих).</li> </ul> <p>Основные нормативные документы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.04.2014)</li> <li>2. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08- 624-03</li> <li>3. Инструкции по технике безопасности предприятия</li> <li>4. и др.</li> </ol> |

|   |   |                          |
|---|---|--------------------------|
| <p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul> | <p><b>2.1</b> При эксплуатации резервуара вертикального стального 10000 м<sup>3</sup> были выявлены следующие виды вредных и опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• повышенная загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>• оборудование, работающее под давлением;</li> <li>• пожарная и взрывная безопасность</li> </ul> <p><b>2.2</b> При эксплуатации могут возникнуть следующие виды вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• отклонение показателей микроклимата;</li> <li>• повышенный уровень шума и вибрации;</li> <li>• недостаточная освещенность;</li> <li>• повышенный уровень электромагнитных излучений.</li> </ul> |                          |
| <p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b></p>  | <p><b>3. Экологическая безопасность</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• загрязнение выбросами при испарении нефти из резервуаров;</li> <li>• утечки в случае разлива нефти из резервуара;</li> <li>• загрязнение почвы нефтешламом, образующихся при работах.</li> </ul>   |                          |
| <p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b></p>   | <p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b></p> <p>При хранении нефти и нефтепродуктов в резервуарном парке, чрезвычайные ситуации могут возникнуть в результате внезапного выхода паров углеводородов, разгерметизации оборудования приводящих к возникновению взрыва и развитию пожара или по причинам техногенного характера (аварии).</p> <p>Чрезвычайные ситуации в резервуарном парке могут возникнуть поразличным причинам, например:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– паводковые наводнения;</li> <li>– лесные пожары;</li> <li>– по причинам техногенного характера (аварии) и др</li> </ul>  |                          |
| <p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>   |   | <p><b>28.04.2023</b></p> |

**Задание выдал консультант:**

| Должность  | ФИО                           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|-------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ООД | Сечин Александр Александрович |                        |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                        | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 2БМ12  | Ахметова Мадина Талгатовна |         |      |

## 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе рассматривается возможное влияние используемого оборудования, сырья, энергии, продукции и условий работы человека на окружающую среду, а так же техника безопасности при работе с оборудованием и действия при чрезвычайных ситуациях.

Конструкции вертикальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов в процессе эксплуатации подвергаются различным силовым воздействиям: давление покрытия снегового покрова, давление продукта, избыточное давление в газовом пространстве резервуара, температурные воздействия и др. Эти факторы приводят к деформированию стенок в результате неравномерной нагрузки, особенно при наличии крена резервуара, и увеличению погрешности измерения объема продукта содержащегося в резервуаре. Поэтому вопрос о нахождении наиболее современного, энергоемкого, безопасного и экономичного метода обнаружения различных дефектов резервуаров реконструкции является важнейшей задачей для эксплуатирующих организаций. В данной работе рассматриваются дефекты, которые могут возникать на резервуарах, причины возникновения дефектов и методы их устранения. После рассмотрения существующих методов, делается вывод об экономической целесообразности их использования. В разделе социальная ответственность, рассматривается резервуар, как опасный производственный объект, анализ причин возникновения опасных и вредных факторов и чрезвычайных ситуаций.

### 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В области охраны труда и безопасности жизнедеятельности трудовую деятельность регламентируют следующие правовые, нормативные акты, инструктивные акты в области охраны труда и отраслевые документы:

- Закон об основах охраны труда в РФ №181-ФЗ от 17.07.1999 г (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.);

|                   |             |                      |                |             |   |  |             |               |
|-------------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|---|--|-------------|---------------|
|                   |             |                      |                |             | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |  |             |               |
| <i>Изм.</i>       | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>      | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |   |  |             |               |
| <i>Разраб.</i>    |             | <i>Ахметова М.Т.</i> |                |             | <b>Социальная<br/>ответственность</b>   | <i>Лит.</i>                                  | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руковод.</i>   |             | <i>Чухарева Н.В.</i> |                |             |   |  | 90          | 145           |
| <i>Рук-ль ООП</i> |             | <i>Шадрина А.В.</i>  |                |             |   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |             |               |
|                   |             |                      |                |             |   |  |             |               |

- Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997 г. с изменениями от 7.08.2000 г.;
- Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.04.2014);
- Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08- 624-03;
- Инструкции по технике безопасности предприятия;
- Порядок разработки деклараций безопасности промышленного объекта РФ. МЧС, Госгортехнадзор №222/59 от 4.04.1996 г.;
- ГОСТ 12.0001-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда»;
- Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СНиП .21/2.11.567-96 от 31.10.1996 г.;
- Закон о пожарной безопасности №б9-ФЗ, принят 21.12.1994 г (с дополнениями и изменениями от 22.08.1995 г, от 18.04.1996г, от 2.01.1998 г, от 11.2000 г. от 27.12.2000 г.);
- Пожарная охрана предприятий. Общие требования. НБТ - 201-96, утв. 01.03.1992 г.;
- Правила пожарной безопасности РФ ППБ-01-93. МВД РФ 14.12.1993 г., дополнения к ним от 25.07.1995 г.

Из вышеупомянутых документов можно сделать вывод: эксплуатационно-монтажные работы проводятся лицами, работающими вахтовым методом. Данный вид работ регулируется Трудовым Кодексом РФ. К работам, выполняемым вахтовым методом, не могут привлекаться работники в возрасте до восемнадцати лет, беременные женщины и женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, а также лица, имеющие противопоказания к выполнению работ вахтовым методом в соответствии с медицинским заключением, выданным в порядке, установленном федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации. Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 91   |

междусменного отдыха. Продолжительность вахты не должна превышать одного месяца. Рабочее время и время отдыха в пределах учетного периода регламентируются графиком работы на вахте, который утверждается работодателем. Работникам, выполняющим работы вахтовым методом, предоставляются надбавки и коэффициенты к заработной плате, а также социальные пакеты (пенсионный фонд, медицинская страховка, оплата санаторного лечения, оплата путевок в детские лагеря и др.). Рациональная организация рабочей зоны обеспечивает удобную рабочую позу, возможность применения передовых приемов и методов труда, минимальные траектории движений рабочего и движений предметов труда, соблюдение строгой последовательности, при которой один элемент работы плавно переходит в другой. При этом размещение средств оснащения и предметов труда должно подчиняться основным требованиям, нарушение которых ведет к непроизводительным затратам рабочего времени и энергии работника, преждевременному утомлению и снижению производительности труда, нерациональному использованию производственных площадей.

## **6.2 Производственная безопасность**

Рассмотрим вредные и опасные производственные факторы, которые действуют или могут воздействовать на организм человека при обслуживании резервуарного парка. Нормативные значения этих факторов и мероприятия, направленные на снижение или устранение этих факторов, можно увидеть в таблице 15.

|             |             |                 |                |             |                                   |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
|             |             |                 |                |             | <b>Социальная ответственность</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                   | 92          |

Таблица 15 – Нормативные значения производственных факторов и мероприятия по их устранению

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)                             | Этапы работ  |                            |  | Нормативные документы   |
|--|--|----------------------------|--|---|
|  | п<br>р<br>о<br>е<br>к<br>т<br>и<br>р<br>о<br>в<br>а<br>н<br>и<br>е | р<br>е<br>м<br>о<br>н<br>т | э<br>к<br>с<br>п<br>л<br>у<br>а<br>т<br>а<br>ц<br>и<br>я |   |
| 1. Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением | +  | +                          | +  | ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ [1]<br>ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ [2]                    |
| 2. Отклонение показателей микроклимата                   |  | +                          | +  | СанПиН 2.2.4.548-96 [3]<br>ГОСТ 12.0.003-2015 [4]<br>СНиП 2.04.14-88* [5] |
| 3. Превышение уровней шума                               | +  | +                          | +  | ГОСТ 12.1.003-2014 [6]  |
| 4. Превышение уровней вибрации                           | +  | +                          | +  | ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ [7]<br>ГОСТ ISO 2954-2014 [8]                       |
| 5. Недостаточная освещенность рабочей зоны               | +  | +                          | +  | СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [9]  |
| 6. Повышенная запыленность и загазованность              | +  | +                          | +  | СанПиН 2.2.4.1294-03 [10]<br>ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ [11]                   |
| 7. Контакт с животными, пресмыкающимися                  | +  | +                          | +  | Р 3.5.2.2487-09 [12]  |
| 8. Движущиеся машины и механизмы                         | +  | +                          | +  | ГОСТ 12.1.003 -14*[13]  |
| 9. Поражение электрическим током                         | +  | +                          | +  | ГОСТ IEC 61140-2012 [14]<br>ГОСТ Р 12.4.234-2012 ССБТ [15]                |

*Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, рабочей зоны:*

В настоящее время для оценки допустимости проведения работ и их нормирования на открытом воздухе в условиях крайнего севера (а также районах, приравненных к районам крайнего Севера) используется понятие предельной жесткости погоды, устанавливаемая для каждого района решением местных региональных органов управления.

Предельная жесткость погоды, ниже которой не могут выполняться работы на открытом воздухе, колеблется в пределах от -40 до -45 °С.

При эквивалентной температуре наружного воздуха ниже -25 °С работающим на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, а также грузчикам, занятым на погрузочно-разгрузочных работах, и другим работникам, ежечасно должен быть обеспечен обогрев в помещении, где необходимо поддерживать температуру около +25 °С.

Работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены в зимнее время спецодеждой и спецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками для лица. При работах, связанных с ограниченностью движения, следует применять спецодежду и спецобувь со специальными видами обогрева. Работники должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию доврачебной помощи.

Интенсивность теплового облучения от работающих агрегатов и от нагретых поверхностей не должна превышать 35 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 50% поверхности тела, 70 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 25-50% поверхности тела и 100 Вт/м<sup>2</sup> при облучении менее 25%. Максимальная температура при этом 28°С (301 К).

Для поддержания микроклимата предусматриваются приточная и вытяжная вентиляции, нагреватели и кондиционеры. Профилактика перегревания работников осуществляется организацией рационального режима труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов для отдыха, использования средств индивидуальной защиты.

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 94   |

В рабочих зонах помещения и площадки обслуживания температура воздуха различна в теплый и холодный периоды года.

Интенсивность теплового облучения от работающих агрегатов и от нагретых поверхностей не должна превышать 35 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 50% поверхности тела, 70 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 25-50% поверхности тела и 100 Вт/м<sup>2</sup> при облучении менее 25%. Максимальная температура при этом 28°C (301 К).

#### *Превышение уровней шума.*

Уровни шума на рабочих местах не должны превышать значений, установленных СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 и составляют не более 50 дБА. На рабочих местах в помещениях для размещения шумных агрегатов уровень шума не должен превышать 75 дБА, а уровень вибрации в помещениях допустимых значений по СН 2.2.4/2.1.8.566-96 категория 3, тип «в». Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА.

Снизить уровень шума в помещениях можно с использованием средств звукоизоляции (звукоизолирующие кожухи) с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создают однотонные занавески из плотной ткани, повешенные в складку на расстоянии 15-20 см от ограждения. Ширина занавески должна быть в 2 раза больше ширины окна.

В качестве СИЗ Государственным стандартом предусмотрены заглушки-вкладыши (многократного или однократного пользования, вкладыши "Беруши" и др.), заглушающая способность которых составляет 6-В случаях более высокого превышения уровней шума следует использовать наушники, надеваемые на ушную раковину. Наушники могут быть независимыми либо встроенными в головной убор или в другое защитное устройство.

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 95   |

### *Превышение уровней вибрации*

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц.

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены:

- применением вибробезопасного оборудования и инструмента;
- применением средств виброзащиты, снижающих воздействие на работающих вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения;
- организационно-техническими мероприятиями.

### *Недостаточная освещенность рабочей зоны*

Для резервуарных парков и участков работ необходимо предусматривать общее равномерное освещение. При этом освещенность должна быть не менее 2 лк независимо от применяемых источников света, за исключением автодорог. При подъеме или перемещении грузов должна быть освещенность места работ не менее 5 лк при работе вручную и не менее 10 лк при работе с помощью машин и механизмов.

### *Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны*

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м<sup>3</sup>, для природного газа ПДК 300 мг/м<sup>3</sup>.

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 96   |

Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны. Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопыльных респираторах, защитных очках и комбинезонах. При загазованности траншеи или котлована в результате утечки газа необходимо прекратить работу и вывести людей, запретив курить, зажигать спички или пользоваться открытым огнем.

#### *Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением*

При несоблюдении правил безопасности при изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудование, работающее под высоким давлением, обладает повышенной опасностью.

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды; неисправности в контрольно-измерительных, регулирующих и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала и т. д.

Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования, работающего под давлением, распространяются:

- работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;
- на баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;
- на цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;
- на цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически.

Основным требованием к конструкции оборудования, работающего под высоким давлением, является надежность обеспечения безопасности при и возможности осмотра и ремонта. Специальные требования предъявляются к сварным швам. Они должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации, располагаться вне опор сосудов. Сварные швы делаются только стыковыми. Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал, обслуживающий сосуды.

#### *Пожарная и взрывная безопасность*

В процессе хранения нефти в резервуаре, углеводороды, входящие в состав нефтяных паров при взаимодействии с воздухом, образуют взрывоопасную смесь. Одна из причин образования паровоздушных смесей – это утечки через фланцевые соединения приемо-раздаточных патрубков резервуара. Нефть относится к категории и группе взрывоопасных смесей - IIА–ТЗ, где IIА – категория смеси, соответствующая промышленным парам нефти, ТЗ – группа, соответствующая температуре самовоспламенения свыше 200°С до 300°С.

Резервуарный парк относится:

- к категории «А» по взрыво- и пожароопасности;
- к классу взрывоопасности «В-1а»;
- к категории молниезащиты «II».

С целью обеспечения взрыво- и пожаробезопасности в резервуарных парках для паров углеводородов установлена предельно-допустимая взрывобезопасная концентрация ПДВК = 2100мг/м<sup>3</sup>.

Все работники должны допускаться к работе только после прохождения противопожарного инструктажа.

Вся передвижная техника в охранной зоне МГ должна быть обеспечена искрогасителями заводского изготовления. Самоходная техника, сварочные агрегаты, компрессоры, задействованные в производстве подготовительных и огневых работ, должны быть обеспечены не менее чем двумя огнетушителями

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 98   |

ОУ-10, ОП-10. В помещениях на видных местах должны быть вывешены таблички с указанием порядка вызова пожарной охраны. Объект необходимо обеспечить прямой связью с ближайшим подразделением пожарной охраны или оператором КС. При работе категорически запрещается курить на рабочем месте. На рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: “Не курить”, “Огнеопасно”, “Взрывоопасно”.

В случае возникновения пожара использовать пенные, порошковые, углекислотные огнетушители или приспособления для распыления воды.

### **6.3 Экологическая безопасность**

При эксплуатации необходим осуществлять мероприятия и работы по охране окружающей среды, которые должны включать предотвращение потерь природных ресурсов, предотвращение попадания загрязняющих веществ в почву, водоёмы и атмосферу.

Перед началом производства работ следует выполнить следующие работы:

- оформить в природоохранных органах все разрешения, согласования и лицензии, необходимые для производства работ по данному объекту;
- заключить договора со специализированными организациями на сдачу отходов, грунта, сточных вод, образующихся в процессе производства работ;
- оборудовать места временного размещения отходов в соответствии с нормативными требованиями.

При организации ремонта необходимо осуществлять мероприятия и работы по охране окружающей среды, которые должны включать предотвращение потерь природных ресурсов, предотвращение попадания загрязняющих веществ в почву, водоемы и атмосферу.

#### *Защита атмосферы*

При хранении нефтепродуктов в резервуаре образовывается газоздушная смесь, которая через дыхательные клапаны выходит в атмосферу, это называется «большие дыхания» резервуара.

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 99   |

Уменьшение газового пространства, это один из наиболее эффективных методов борьбы с потерями от испарения и выбросом в окружающую среду. Также поддержание всего транспортного парка в исправном состоянии, осуществление постоянного контроля на соответствие требованиям нормативов уровня выбросов в атмосферу оксидов азота и окиси углерода в составе выхлопных газов и регулировка двигателей [15].

Немаловажным фактором является в целом состояние резервуара. Наличие коррозии и различных видов дефектов также приводит к большим потерям и выбросам. Резервуары и прилегающую территорию содержат в чистоте, и оборудуют средствами пожаротушения и молниеотводами.

#### *Защита гидросферы*

Производственно-дождевые сточные воды нефтеперекачивающих станций и нефтебаз перед сбросом их в водоемы и водотоки должны быть очищены. Необходимая степень очистки должна быть обоснована с учетом места сброса сточных вод и установленного норматива предельно допустимого сброса загрязняющего вещества.

Нормы предельно допустимого сброса загрязняющих веществ со сточными водами устанавливаются в разрешениях на специальное водопользование в соответствии с «Инструкцией о порядке согласования и выдачи разрешений на спецводопользование» [16].

При попадании нефти в водоемы, необходимо ликвидировать ее дальнейшее распространение с помощью боновых заграждений и удалить нефтесборщиками. Собранную нефть размещают в специальных сборных резервуарах для последующей утилизации, исключаяющей вторичное загрязнение производственных объектов и объектов окружающей среды. Тонкие слои нефти, оставшиеся на поверхности воды после сбора нефтесборщиками, нефть, оставшаяся в лагунах, рукавах, заливах, убирается сорбентами. Остаточные нефтяные загрязнения, нефть, оставшаяся на плесах, берегах, между растительностью, смываются водой, собираются на поверхности воды между

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 100  |

берегом и боновыми заграждениями, затем убирается с помощью сорбентов, которые наносятся на водную поверхность и после пропитывания остаточной нефтью собираются и вывозятся на специальные полигоны, где утилизируются или сжигаются.

### *Защита литосферы*

Литосфера – твердая оболочка Земли, включающая земную кору и мантию. Почва, наряду с Мировым океаном оказывает решающее значение на всю биосферу. Активно участвует в круговороте веществ и энергии в природе, поддерживает газовый состав атмосферы Земли.

Источниками загрязнения почвы нефтью на нефтеперекачивающих станциях магистральных нефтепроводов и нефтебазах являются неплотности запорной арматуры, фланцевых и муфтовых соединений, сварных стыков; утечки вследствие коррозионных повреждений резервуаров; продукты зачистки резервуаров.

Загрязнение почв нефтешламом приводит к значительному экологическому и экономическому ущербу: понижается продуктивность лесных ресурсов, ухудшается санитарное состояние окружающей среды.

Приказом по предприятию назначается лицо, ответственное за сбор, временное хранение и организацию своевременного вывоза нефтешлама, образующихся в результате проведения работ. На участке должен проводиться постоянный контроль за состоянием рабочих емкостей и контейнеров с отходами. Места временного хранения и накопления отходов должны соответствовать требованиям техники безопасности, санитарно-гигиеническим нормам и выше перечисленным инструкциям. Места сбора и накопления отходов должны быть оборудованы углекислотными огнетушителями, ящиками с песком, лопатой, войлоком, кошмой или асбестом.

Земельные участки, отведенные в постоянное пользование, благоустраиваются с использованием предварительно снятого почвенно-растительного слоя. Земли, передаваемые во временное пользование, подлежат

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 101  |

восстановлению (рекультивации). Земельные участки приводятся в пригодное для использования по назначению состояние в ходе работ, а при невозможности этого не позднее, чем в течение года после завершения работ.

Немаловажным фактором является в целом состояние резервуара. Наличие коррозии и различных видов дефектов также приводит к большим потерям выбросам.

Резервуары и прилегающую территорию содержат в чистоте, и оборудуют средствами пожаротушения и молниеотводами.

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, катастрофы, опасного природного процесса, стихийного бедствия, которая приводит к человеческим жертвам, наносит ущерб здоровью населения и природной среде, а также вызывает значительные материальные потери и нарушение условий жизни людей [17].

На объектах для хранения нефти могут произойти различного рода аварии, которые могут привести к чрезвычайным ситуациям. Это и пожары, и взрывы при проведении ремонтных работ с несоблюдением требований безопасности по ремонту и эксплуатации.

Чрезвычайные ситуации в резервуарном парке могут возникнуть по различным причинам, например:

- паводковые наводнения;
- лесные пожары;
- по причинам техногенного характера (аварии) и др.

Аварии могут привести к чрезвычайным ситуациям. Возможными причинами аварий могут быть:

- ошибочные действия персонала при производстве работ;
- отказ приборов контроля и сигнализации;
- отказ электрооборудования и отключение электроэнергии;

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 102  |

- производство ремонтных работ без соблюдения необходимых организационно-технических мероприятий;
- старение оборудования (моральный или физический износ);
- факторы внешнего воздействия (ураганы, удары молнией и др.).

Одними из примеров чрезвычайных ситуаций могут быть пожары или взрывы при проведении работ в газоопасных местах при очистке резервуара.

Данные пожары и взрывы относятся к чрезвычайным ситуациям техногенного характера. С целью предотвращения чрезвычайных ситуаций, связанных с возникновением взрывов или пожаров необходимо применить следующие меры безопасности:

- перед началом работ переносным газоанализатором проверяется уровень загазованности воздушной среды, при этом содержание паров нефти и газов не должно превышать предельно –допустимой концентрации по санитарным нормам;
- в процессе работы следует периодически контролировать загазованность, а в случае необходимости обеспечить принудительную вентиляцию;
- для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности работники должны быть оснащены спецодеждой, спецобувью и другие средства индивидуальной защиты (очки, перчатки, каски), которые предусмотрены типовыми и отраслевыми нормами [18].

Порядок оповещения в ЧС:

Первичная информация о чрезвычайной ситуации поступает на пульт старшему сотруднику охраны [19].

Дежурный сотрудник с получением сообщения о чрезвычайной ситуации обязан:

- уточнить метеоданные, оценить обстановку;
- включить кнопку запуска электросирены;

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 103  |

- доложить Управляющему (генеральному директору) и главному инженеру о масштабах аварии и с их разрешения задействовать Схему оповещения и сбора руководящего состава;
- доложить оперативному дежурному ГУ МЧС;
- по громкоговорящей связи объявить информацию по территории нефтебазы и для населения, проживающего вблизи объекта;
- по техническим средствам связи объявить сигнал «Объявлен сбор» и сообщить информацию городской пожарной части;
- оповестить и организовать сбор комиссии по ЧС ПБ;
- сделать запись в оперативном журнале о чрезвычайной ситуации и принятых мерах;
- подготовить информацию для донесений в ГУ МЧС;
- по прибытии руководителя – Управляющего (генерального директора), главного инженера доложить о выполненных мероприятиях;
- Организация оповещения об обстановке органов управления привлекаемых сил, рабочих и служащих объекта осуществляется по радиотрансляционной сети, поисковой, телефонной связи или посыльными.

### **6.5 Расчет количества аварийных выбросов опасных веществ, участвующих в создании поражающих факторов на приемо-раздаточном патрубке резервуара**

Количество продукта, которое может вытечь из дефектного отверстия при аварии, является вероятностной функцией, зависящей от следующих случайных параметров:

- места расположения и площади дефектного отверстия;
- продолжительности утечки с момента возникновения аварии до остановки перекачки (от нескольких минут при крупных разрывах и нескольких дней при мелких, которые трудно зафиксировать приборами);
- времени прибытия дежурного персонала и времени выполнения мер до полного прекращения истечения продукта.

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 104  |

Расчет количества продукта, вытекшего из аварийных участков трубопровода, производится в три этапа:

Первый – истечение продукта с момента повреждения до остановки перекачки;

Второй – истечение продукта из трубопровода с момента остановки перекачки до закрытия арматуры;

Третий – истечение продукта из трубопровода с момента закрытия арматуры до прекращения утечки.

Общий объем аварийного выброса жидкости и газа составляет:

### **Выводы по разделу**

Хочется отметить, что резервуары входят в состав опасных производственных объектов и возможное влияние на ситуации, связанные с безопасной работой оборудования, с комфортным и правильным условиям труда сотрудников, с загрязнением окружающей среды хочется снизить. В разделе были рассмотрены опасные и вредные факторы, оказываемые на людей при монтаже, эксплуатации резервуаров, а также способы защиты и предупреждения. Всевозможные аварийные последствия, которые связаны с безопасностью труда работников, а также условиями охраны окружающей среды необходимо снизить.

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Социальная ответственность | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 105  |

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                 |
| 2БМ12         | Ахметова Мадина Талгатовна |

|                            |                                     |                                  |  |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| <b>Школа</b>               | Инженерная школа природных ресурсов | <b>Отделение школы (НОЦ)</b>     | Отделение нефтегазового дела   |
| <b>Уровень образования</b> | Магистратура                        | <b>Направление/специальность</b> | Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

|   |  |
|---|--|
| <i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров   |
| <i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | СП 365.1325800.2017 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для хранения нефтепродуктов<br>ГЭСН 09-02-014-09. Монтаж элементов резервуаров стальных вертикальных цилиндрических для нефти и нефтепродуктов вместимостью 10000 м <sup>3</sup> |
| <i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | Налоговый кодекс Российской Федерации (1 часть)<br>ФЗ №146 от 31.07.1998 в ред. от 28.03.2023<br>Налоговый кодекс Российской Федерации (2 часть)<br>ФЗ №117 от 05.08.2000 в ред от 28.04.2023  |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|  |   |
|--|---|
| <i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>   | Обоснование применения технологии 3-D сканирования и использования СКНР                             |
| <i>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | Расчет основных затрат, необходимых для проведения НК РВС-10000 кубических метров и применении СКНР |
| <i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>   | Оценка экономической эффективности при применении технологии 3-D сканирования и использовании СКНР  |

**Перечень графического материала**

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

|                  |            |                               |                |             |
|------------------|------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b> | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Профессор ОНД    | Шарф И.В.  | д.э.н., доцент                |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                            |                |             |
|---------------|----------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                 | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 2БМ12         | Ахметова Мадина Талгатовна |                |             |

## 7 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время, более 70% эксплуатирующего оборудования в России выработало свой ресурс (срок эксплуатации 30-35 лет). Известно, что аварии и отказы происходят в начальный период эксплуатации из-за дефектов монтажа, затем следует период безаварийной работы, а после 15-20 лет эксплуатации количество отказов, аварийных ситуаций резко возрастает, вследствие накопления повреждений, возникших при эксплуатации. Одними из наиболее опасных объектов были и остаются различные виды резервуаров. В системе трубопроводного транспорта, например, более 3000 РВС находятся в эксплуатации более 50 лет, свыше 1000 РВС - от 40 до 50 лет. Экономически выгодная эксплуатация резервуара не может быть обеспечена без должного наблюдения за техническим состоянием и своевременным устранением неполадок. Нарушение прочности и герметичности в резервуарах в большинстве случаев вызывается совокупностью различных неблагоприятных воздействий на конструкции. Элементы резервуара в эксплуатационных условиях испытывают значительные быстроменяющиеся температурные режимы, повышение давления, вакуум, вибрацию, неравномерные осадки и коррозию. Практически каждый из резервуаров представляет собой объект повышенной опасности для персонала предприятия, населения, соседних сооружений и окружающей среды. Также можно отметить, что резервуары, как и любой технический объект, имеют свой ресурс и каждое предприятие стремится повысить экономическую эффективность производства товаров или услуги с наименьшими издержками, что означает отсутствие потерь в использовании ресурсов.

### 7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: Резервуар вертикальный стальной 10000 м<sup>3</sup>.

|                   |             |                      |                |             |   |  |             |               |
|-------------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|---|--|-------------|---------------|
|                   |             |                      |                |             | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |  |             |               |
| <i>Изм.</i>       | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>      | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |   |  |             |               |
| <i>Разраб.</i>    |             | <i>Ахметова М.Т.</i> |                |             | <b>Финансовый менеджмент,<br/>ресурсоэффективность и<br/>ресурсосбережение</b>  | <i>Лит.</i>                                  | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руковод.</i>   |             | <i>Чухарева Н.В.</i> |                |             |   |  | 107         | 145           |
| <i>Рук-ль ООП</i> |             | <i>Шадрина А.В.</i>  |                |             |   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |             |               |
|                   |             |                      |                |             |   |  |             |               |

Целевой рынок: нефтяные и газовые компании.

|                 |         | Вид исследования пускового устройства |                               |                     |
|-----------------|---------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
|                 |         | Расчет РВС                            | 3D модель и анализ работы РВС | Конструирование РВС |
| Размер компании | Крупные |                                       |                               |                     |
|                 | Средние |                                       |                               |                     |
|                 | Мелкие  |                                       |                               |                     |

- «Роснефть»
- «Сургутнефтегаз»
- «Транснефть»

В различных исследованиях резервуар вертикальный стальной необходим в основном крупным компаниям, так как данный резервуар прост в сборке и обслуживании. Крупным компаниям важна простота и долговечность. Для каждого резервуарного парка используют оборудование с разными техническими характеристиками.

3D модель имеет не мало важную роль для конструирования РВС, так как при создании трехмерной модели, в специальных программах, типа Ansys, можно смоделировать отклонение от вертикали и посмотреть, как он будет вести себя в рабочем режиме, где будут максимальные нагрузки. На основе расчетов и трехмерной модели ведется конструирование, учитываются все просчеты.

## **7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 16 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки                                     | Вес критерия | Баллы |     |    | Конкурентоспособность |      |      |
|---|--------------|-------|-----|----|-----------------------|------|------|
|   |              | Бф    | Бк1 | Бб | Кф                    | Кк1  | Кб   |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности    |              |       |     |    |                       |      |      |
| 1. Срок службы                                      | 0,13         | 3     | 2   | 2  | 0,39                  | 0,26 | 0,26 |
| 2. Ремонтопригодность                               | 0,1          | 4     | 2   | 3  | 0,4                   | 0,2  | 0,3  |
| 3. Надежность                                       | 0,12         | 3     | 3   | 3  | 0,36                  | 0,36 | 0,36 |
| 4. Простота ремонта                                 | 0,1          | 3     | 2   | 1  | 0,3                   | 0,2  | 0,1  |
| 5. Удобство в эксплуатации                          | 0,08         | 4     | 3   | 3  | 0,32                  | 0,24 | 0,24 |
| 6. Уровень шума                                     | 0,11         | 4     | 3   | 3  | 0,44                  | 0,33 | 0,33 |
| Экономические критерии оценки эффективности         |              |       |     |    |                       |      |      |
| 1. Конкурентоспособность продукта                   | 0,03         | 4     | 3   | 2  | 0,12                  | 0,09 | 0,06 |
| 2. Уровень проникновения на рынок                   | 0,08         | 4     | 2   | 3  | 0,32                  | 0,16 | 0,24 |
| 3. Цена   | 0,1          | 3     | 3   | 3  | 0,3                   | 0,3  | 0,3  |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации                 | 0,07         | 4     | 4   | 4  | 0,28                  | 0,28 | 0,28 |
| 5. Послепродажное обслуживание                      | 0,06         | 4     | 3   | 3  | 0,24                  | 0,18 | 0,18 |
| 6. Наличие финансирования поставщиками оборудования | 0,02         | 2     | 3   | 2  | 0,04                  | 0,06 | 0,04 |
| Итого   | 1            | 43    | 33  | 32 | 3,51                  | 2,66 | 2,69 |

БФ – Резервуар вертикальный стальной;

Бк1 – Резервуар вертикальный стальной с понтоном;

Бб – Резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей.

По таблице 16 видно, что наиболее эффективно использовать резервуар вертикальный стальной, так же он является наиболее конкурентоспособным к другому виду, так как обладает рядом преимуществ, например, удобство в эксплуатации, а также минимальное количество подвижных частей, что обеспечивает долговечность работы резервуара.

$$K1 = \frac{43}{33} = 1,3 \quad (19)$$

### 7.3 SWOT – анализ

SWOT – анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться

В первом этапе обычно описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа:

1. Сильные стороны проекта:

- Высокая экономичность технологии.
- Экономичность технологии.
- Повышение безопасности производства.
- Уменьшение затрат на ремонт оборудования.

2. Слабые стороны проекта:

- Трудность внедрения функции.
- Отсутствие на предприятии собственного специалиста, способного произвести внедрение функции.

3. Возможности:

- Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации.
- Сокращение расходов.
- Качественное обслуживание потребителей.
- Сокращение времени простоев.

4. Угрозы проекта:

- Отсутствие спроса на новые производства;
- Снижение бюджета на разработку;
- Высокая конкуренция в данной отрасли.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа. Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 17, 18, 19, 20.

Таблица 17 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Возможности<br>проекта  |    | C1 | C2 | C3 | C4 |
|                         | B1 | +  | +  | -  | 0  |
|                         | B2 | -  | -  | +  | -  |
|                         | B3 | -  | 0  | -  | 0  |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: B1C1C2, B2C3.

Таблица 18 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
| Возможности<br>проекта |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|                        | B1 | +   | -   | 0   |
|                        | B2 | -   | 0   | -   |
|                        | B3 | -   | -   | 0   |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: B1Сл1.

Таблица 19 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Угрозы проекта          |    | C1 | C2 | C3 | C4 |
|                         | У1 | +  | +  | -  | 0  |
|                         | У2 | -  | -  | -  | -  |
|                         | У3 | +  | +  | 0  | 0  |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1У3С1С2.

Таблица 20 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
| Угрозы проекта         |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|                        | У1 | +   | -   | 0   |
|                        | У2 | -   | 0   | -   |
|                        | У3 | -   | -   | 0   |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1Сл1.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 21).

Таблица 21 – Матрица SWOT

|   | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>   | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>   |
|---|---|--|
|   | <p>С1. Высокая экономичность технологии.</p> <p>С2. Экономичность технологии.</p> <p>С3. Повышение безопасности производства.</p> <p>С4. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p>                             | <p>Сл1. Трудность внедрения функции.</p> <p>Сл2. Отсутствие на предприятии собственного специалиста, способного произвести внедрение функции.</p>  |
| <p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации.</p> <p>В2. Сокращение расходов.</p> <p>В3. Качественное обслуживание потребителей.</p> <p>В4. Сокращение времени простоев.</p> | <p>– Достижение повышения производительности агрегатов.</p> <p>– Исключение поломок оборудования в результате сбоев в электроснабжении.</p> <p>– Своевременная поставка нефти и природного газа потребителям.</p> | <p>1. Поиск заинтересованных лиц</p> <p>2. Разработка научного исследования</p> <p>3. Принятие на работу квалифицированного специалиста.</p> <p>4. Переподготовка имеющихся специалистов</p> |
| <p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1: Отсутствие спроса на новые технологии производства;</p> <p>У2: Снижение бюджета на разработку</p> <p>У3: Высокая конкуренция в данной отрасли.</p>   | <p>1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>2. Доработка проекта</p> <p>3. Сложность реализации проекта.</p>   | <p>1. Приобретение необходимого оборудования опытного испытания</p> <p>2. Остановка проекта.</p> <p>3. Проведения других проектов</p>  |

### Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{2t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (20)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (21)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot K_{кал}, \quad (22)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$K_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (23)$$

где  $T_{кал} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых} = 66$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр} = 15$  – количество праздничных дней в году.

$$K_{кал} = \frac{365}{365 - 66 - 15} = 1,28$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблице 22.

Таблица 22 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы                                 | Трудоемкость работ  |                     |                    | Исполнители               | Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$ | Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$ |
|---|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---|---|
|   | $t_{min}$ , Чел-дни | $t_{max}$ , Чел-дни | $t_{ож}$ , Чел-дни |                           |   |   |
| Календарное планирование работ по теме          | 3                   | 6                   | 4,2                | Руководитель, Исполнитель | 2   | 3   |
| Составление и утверждение тех. задания          | 1                   | 3                   | 1,8                | Руководитель              | 2   | 3   |
| Подбор и изучение материалов по теме            | 10                  | 15                  | 12                 | Исполнитель               | 12  | 16  |
| Согласование материалов по теме                 | 5                   | 8                   | 6,2                | Руководитель              | 6   | 8   |
| Проведение теоретических расчетов и обоснование | 6                   | 18                  | 10                 | Исполнитель               | 10  | 13  |
| Проектирование 3D модели резервуара             | 3                   | 12                  | 6,6                | Исполнитель               | 7   | 9   |
| Оценка результатов исследования                 | 3                   | 5                   | 3,8                | Руководитель, Исполнитель | 2   | 3   |
| Составление пояснительной записки               | 7                   | 16                  | 11,4               | Руководитель, Исполнитель | 6   | 8   |

На основе таблицы 22 строим план график, представленный в таблице 23.

Таблица 23 – План-график проведения работ

| № | Вид работ                              | Исполнители | $T_{ki}$ , кал. дни | Продолжительность выполнения работ |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |  |  |  |
|---|--|-------------|---------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|--|--|--|
|   |  |             |                     | Фев.                               |   | Март |   |   | Апрель |   |   | Май |   |   |  |  |  |
|   |  |             |                     | 2                                  | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 |  |  |  |
| 1 | Составление и утверждение тех. задания | Р           | 3                   |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |  |  |  |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме   | И           | 18                  |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |  |  |  |

|   |   |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 3 | Согласование материалов по теме                 | Р    | 9   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | Календарное планирование работ по теме          | Р, И | 3   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 | Проведение теоретических расчетов и обоснование | И    | 15  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 | Проектирование 3D модели резервуара             | И    | 10  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 | Оценка результатов исследования                 | Р, И | 3,8 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 | Составление пояснительной записки               | Р, И | 9   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

 – руководитель;  
 – исполнитель

*Бюджет научно-технического исследования*

Материальные затраты включают затраты на изготовление опытного образца. Все необходимое спецоборудование и затраты на его приобретение представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Смета затрат на реализацию проекта

| Оборудование   | Количество, шт. | Цена за шт., руб. | Стоимость комплекта, руб.    |
|--|-----------------|-------------------|------------------------------|
| Резервуар вертикальный стальной (при исполнении 1)                     | 1               | 850000,00         | 850000,00                    |
| Резервуар вертикальный стальной с понтоном (при исполнении 2)          | 1               | 1250000,00        | 1250000,00                   |
| Резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей (при исполнении 3)  | 1               | 1200000,00        | 1200000,00                   |
| Люк лаз ЛЛ-600 (или люк лаз овальный ЛЛ 600x900) в первом поясе стенки | 1               | 16301,60          | 16301,60                     |
| Люк световой ЛС-500  | 1               | 83751,36          | 83751,36                     |
| Клапан дыхательный с огнепреградителем КДС-1500/250                    | 2               | 15778,16          | 31556,32                     |
| Огнепреградитель ОП-500 ААН  | 1               | 80012,46          | 80012,46                     |
| Патрубки вентиляционные ПВ-500   | 1               | 80984,57          | 80984,57                     |
| Патрубок приемно-раздаточный ППР-400                                   | 1               | 18470,17          | 18470,17                     |
| Патрубок монтажный ПМ-500  | 1               | 46287,58          | 46287,58                     |
| Генератор пены ГПСС-2000   | 2               | 10917,59          | 21835,18                     |
| Кран сифонный КС-80  | 1               | 58625,95          | 58625,95                     |
| Пробоотборник секционный ПСР   | 1               | 40081,01          | 40081,01                     |
| Механизм управления хлопушкой МУ-2                                     | 1               | 160270,99         | 160270,99                    |
| Патрубок монтажный ПМ-150  | 3               | 882,56            | 2647,68                      |
| Хлопушка ХП-400  | 1               | 81283,69          | 81283,69                     |
| Итого:   |                 |                   | При исполнении 1: 2872108,56 |
|  |                 |                   | При исполнении 2: 3272108,56 |
|  |                 |                   | При исполнении 3: 3222108,56 |

Для проведения научного исследования нам необходим компьютер, с установленными на него специальными программами и с нужным нам программным обеспечением.

Затраты на покупку компьютера:

$$Z = d_k + d_{no} = 25000 + 3000 = 28000, \quad (24)$$

где  $d_k$  – стоимость компьютера;

$d_{no}$  – стоимость программного обеспечения.

Установка специальных программ для исследования и моделирования объекта производится бесплатно.

#### *Основная заработная плата исполнителей темы*

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы

| № | Наименование этапов                    | Исполнители по категориям | Трудоемкость, чел.-дн. |        |        | Зарплата, приходящая на один чел.-дн., тыс. руб. | Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб. |        |        |
|---|--|---------------------------|------------------------|--------|--------|--|---|--------|--------|
|   |  |                           | Исп. 1                 | Исп. 2 | Исп. 3 |  | Исп. 1                                      | Исп. 2 | Исп. 3 |
| 1 | Календарное планирование работ по теме | Руководитель, Исполнитель | 2                      | 3      | 2      | 1,16   | 2,32  | 3,48   | 2,32   |
| 2 | Выбор темы исследования                | Руководитель              | 7                      | 9      | 8      | 0,93   | 6,51  | 8,37   | 7,44   |

|        |   |                              |    |    |    |      |       |       |       |
|--------|---|------------------------------|----|----|----|------|-------|-------|-------|
| 3      | Составление и утверждение тех. задания          | Руководитель                 | 2  | 2  | 2  | 0,93 | 1,86  | 1,86  | 1,86  |
| 4      | Подбор и изучение материалов по теме            | Исполнитель                  | 12 | 12 | 12 | 0,23 | 2,76  | 2,76  | 2,76  |
| 5      | Проведение теоретических расчетов и обоснование | Исполнитель                  | 8  | 9  | 9  | 0,23 | 1,84  | 2,07  | 2,07  |
| 6      | Проектирование 3D модели резервуара             | Исполнитель                  | 6  | 9  | 8  | 0,23 | 1,38  | 2,07  | 1,84  |
| 7      | Оценка результатов исследования                 | Руководитель,<br>Исполнитель | 4  | 5  | 6  | 1,16 | 4,64  | 5,8   | 6,96  |
| 8      | Составление пояснительной записки               | Руководитель,<br>Исполнитель | 5  | 5  | 5  | 1,16 | 5,8   | 5,8   | 5,8   |
| Итого: |   |                              |    |    |    |      | 27,11 | 32,21 | 31,05 |

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_n = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (25)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = T_p \cdot Z_{дн}, \quad (26)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51413 \cdot 10,1}{185} = 2661 \text{ руб.}, \quad (27)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн

Таблица 26 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени                                   | Руководитель | Исполнитель |
|---|--------------|-------------|
| Календарное число дней  | 365          | 365         |
| Количество нерабочих дней:<br>- выходные<br>- праздничные     | 118          | 118         |
| Потери рабочего времени:<br>- отпуск<br>- невыходы по болезни | 62           | 72          |
| Действительный годовой фонд рабочего времени                  | 185          | 175         |

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 23264 \cdot (1 + 0,3 + 0,4) \cdot 1,3 = 51413, \quad (28)$$

где  $Z_{мс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{мс}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 - 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от  $Z_{мс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{mc}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_m$  и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

За основу оклада берется ставка работника ТПУ, согласно занимаемой должности. Из таблицы окладов для доцента (степень – кандидат наук) – 23264 руб., для ассистента (степень отсутствует) – 14584 руб.

Таблица 27 – Расчет основной заработной платы для исполнения 1

| Исполнители  | Зтс,<br>тыс.<br>руб. | кпр | кд  | кр  | Зм,<br>тыс.<br>руб. | Здн,<br>тыс.<br>руб. | Тр,<br>раб.<br>дн. | Зосн,<br>тыс.<br>руб. |
|--------------|----------------------|-----|-----|-----|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| Руководитель | 23264                | 0,3 | 0,4 | 1,3 | 51413               | 2,674                | 20                 | 53,48                 |
| Исполнитель  | 14584                | 0   | 0   | 1,3 | 18959               | 1,126                | 37                 | 41,66                 |
| Итого:       |                      |     |     |     |                     |                      |                    | 95,14                 |

Таблица 28 – Расчет основной заработной платы для исполнения 2

| Исполнители  | Зтс,<br>тыс.<br>руб. | кпр | кд  | кр  | Зм,<br>тыс.<br>руб. | Здн,<br>тыс.<br>руб. | Тр,<br>раб.<br>дн. | Зосн,<br>тыс.<br>руб. |
|--------------|----------------------|-----|-----|-----|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| Руководитель | 23264                | 0,3 | 0,4 | 1,3 | 51413               | 2,674                | 24                 | 64,18                 |
| Исполнитель  | 14584                | 0   | 0   | 1,3 | 18959               | 1,126                | 43                 | 48,41                 |
| Итого:       |                      |     |     |     |                     |                      |                    | 112,59                |

Таблица 29 – Расчет основной заработной платы для исполнения 2

| Исполнители  | Зтс,<br>тыс.<br>руб. | кпр | кд  | кр  | Зм,<br>тыс.<br>руб. | Здн,<br>тыс.<br>руб. | Тр,<br>раб.<br>дн. | Зосн,<br>тыс.<br>руб. |
|--------------|----------------------|-----|-----|-----|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| Руководитель | 23264                | 0,3 | 0,4 | 1,3 | 51413               | 2,674                | 28                 | 74,87                 |
| Исполнитель  | 14584                | 0   | 0   | 1,3 | 18959               | 1,126                | 49                 | 55,17                 |
| Итого:       |                      |     |     |     |                     |                      |                    | 130,04                |

#### *Дополнительная заработная плата исполнителей темы*

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и

общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 53480 = 6952 \text{ руб}; \quad (29)$$

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 41660 = 5416 \text{ руб.}$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Для исполнения 2 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 64180 = 8343 \text{ руб};$$

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 48410 = 6293 \text{ руб.}$$

Для исполнения 3 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 74870 = 9733 \text{ руб};$$

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 55170 = 7172 \text{ руб.}$$

*Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)*

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (53480 + 6952) = 16377 \text{ руб},$$

(30) где  $k_{внеб}$  –

коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Финансовый менеджмент,<br>ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 122  |

№212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 30 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель                                     | Основная заработная плата,<br>тыс. руб |        |              | Дополнительная заработная<br>плата, тыс. руб |        |        |
|---|--|--------|--------------|--|--------|--------|
|   | Исп. 1                                 | Исп. 2 | Исп. 3       | Исп. 1                                       | Исп. 2 | Исп. 3 |
| Руководитель                                    | 53,480                                 | 64,180 | 74,870       | 6,952  | 8,343  | 9,733  |
| Исполнитель<br>проекта                          | 41,660                                 | 48,410 | 55,170       | 5,416  | 6,293  | 7,172  |
| Коэффициент отчислений<br>во внебюджетные фонды | 0,271                                  |        |              |  |        |        |
| Итого:  |  |        |              |  |        |        |
| Исполнение 1                                    | Исполнение 2                           |        | Исполнение 3 |  |        |        |
| 29,134  | 34,478                                 |        | 39,822       |  |        |        |

*Прочие расходы*

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, пишущие принадлежности, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

*Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта*

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 31 – Расчет бюджета затрат НИТ

| Наименование<br>статьи  | Сумма, руб.<br>(исполнение 1) | Сумма, руб.<br>(исполнение 2) | Сумма, руб.<br>(исполнение 3) | Примечание |
|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| 1. Материальные<br>затраты  | 2872108                       | 3272108                       | 3222108                       |            |
| 2. Затраты по<br>основной<br>заработной плате<br>исполнителей<br>темы | 95140                         | 112590                        | 130040                        |            |

|   |         |         |         |               |
|---|---------|---------|---------|---------------|
| 3. Затраты по дополнительной заработной плате Исполнителей темы | 12368   | 14636   | 16905   |               |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды                             | 29134   | 34478   | 39822   |               |
| 5. Затраты на покупку компьютера                                | 28000   | 28000   | 28000   |               |
| 6. Прочие расходы   | 24000   | 24000   | 24000   |               |
| 7. Бюджет затрат НТИ  | 3060750 | 3485812 | 3460875 | Сумма ст. 1-6 |

#### 7.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (31)$$

где  $I_{финр}^{испi}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Для 1-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{3060750}{3485812} = 0,878.$$

Для 2-ого варианта имеем:

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{3485812}{3485812} = 1.$$

Для 3-ого варианта имеем:

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{3460875}{3485812} = 0,993.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (32)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 32 – Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии                   | Весовой коэф. | Резервуар вертикальный стальной (исп. 1) | Резервуар вертикальный стальной с понтоном (исп. 2) | Резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей (исп. 3) |
|----------------------------|---------------|--|---|---|
| 1. Безопасность            | 0,1           | 5  | 4   | 4   |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,15          | 4  | 3   | 4   |
| 3. Срок службы             | 0,15          | 5  | 3   | 3   |
| 4. Ремонтпригодность       | 0,20          | 5  | 3   | 5   |
| 5. Надёжность              | 0,25          | 4  | 4   | 4   |
| 6. Материалоёмкость        | 0,15          | 5  | 4   | 3   |
| Итого:                     | 1             | 4,6                                      | 3,05  | 3,9   |

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p - \text{исп1} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,6 \quad (33)$$

$$I_p - \text{исп2} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,05$$

$$I_p - \text{исп3} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 3,9$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{исп.1}^{финр}}; \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{исп.2}^{финр}}; \quad I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{исп.3}^{финр}};$$

$$I_{исп1} = 5,24; \quad I_{исп2} = 3,05; \quad I_{исп3} = 3,93.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{срi}$ ):

$$\mathcal{E}_{срi} = \frac{I_{испi}}{I_{исп\ min}}, \quad (34)$$

$$\mathcal{E}_{ср1} = 1,72; \quad \mathcal{E}_{ср2} = 1; \quad \mathcal{E}_{ср3} = 1,29.$$

Таблица 33 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели  | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|-------|---|-------|-------|-------|
| 1     | Интегральный финансовый показатель разработки           | 0,878 | 1     | 0,993 |
| 2     | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,6   | 3,05  | 3,9   |
| 3     | Интегральный показатель эффективности                   | 5,24  | 3,05  | 3,93  |
| 4     | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | 1,72  | 1     | 1,29  |

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, резервуар вертикальный стальной остается эффективным и сохраняет конкурентоспособность.

### 7.5 Чистая приведенная стоимость

Net present value (NPV), является показателем рентабельности проекта. Формула расчета NPV учитывает сумму чистого денежного потока, период времени, в течение которого была взята данная сумма, на сколько периодов рассчитан проект и ставку дисконтирования.

Интерпретация расчетной величины чистой текущей стоимости может быть различной, в зависимости от целей инвестиционного анализа и характера ставки дисконтирования. В простейшем случае NPV характеризует абсолютную величину суммарного эффекта, достигаемого при осуществлении проекта, пересчитанного на момент принятия решения при условии, что ставка дисконтирования отражает стоимость капитала. Таким образом, в случае положительного значения NPV рассматриваемый проект может быть признан как привлекательный с инвестиционной точки зрения, нулевое значение соответствует равновесному состоянию, а отрицательная величина NPV свидетельствует о невыгодности проекта для потенциальных инвесторов. Широкая распространенность метода оценки приемлемости инвестиций на основе NPV обусловлена тем, что он обладает достаточной устойчивостью при разных комбинациях исходных условий, позволяя во всех случаях находить экономически рациональное решение. Однако он все же дает ответ лишь на вопрос, способствует ли анализируемый \*1 вариант инвестирования росту ценности фирмы или богатства инвестора вообще, но никак не говорит об относительной мере такого роста. А эта мера всегда имеет большое значение для любого инвестора. Для восполнения такого пробела используется иной показатель — метод расчета рентабельности инвестиций. Ставка

дисконтирования, при которой инвестор получит назад все вложения, то есть выйдет в ноль – внутренняя норма доходности так же была рассчитана.

Полученные данные расчета NPV, ВНД для проекта приведены в приложении 2.

### **Вывод по разделу**

Согласно поставленной цели исследования в данной работе было рассмотрено экономическое обоснование выбора применения технологий 3D сканирования и использование СКНР. В результате проведенных исследований были получены следующие данные:

1. Были рассчитаны сметы на проведение неразрушающего контроля и использование СКНР. Выявлено, что при использовании данных методов в контроле и компенсации нагрузки эксплуатация резервуара повысится на 7 лет

2. При расчете технико-экономических показателей проекта доказано, что затраты на применение технологии 3D сканирования и применение системы компенсации нагрузки резервуара на приемо-раздаточном патрубке ниже затрат на ремонт резервуара на 30%

3. В результате работы был проведен анализ чувствительности проекта к изменению некоторых экономических факторов). Исследование степени устойчивости проекта показали высокую его устойчивость к изменению внешних факторов и экономическую эффективность и целесообразность применения технологий.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Финансовый менеджмент,<br>ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 128  |

### Список литературных источников

1. Аварии и надежность стальных резервуаров / И. М. Розенштейн. – М. : Недра, 1995;
2. Исследование напряженно-деформированного состояния стенки резервуара при неравномерных осадках основания Хоперского Г.Г.;
3. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах Тарасенко А.А.;
4. Резервуары вертикальные стальные, обеспечение надежности рвс в эксплуатации / Малин А.Д.;
5. Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров / Буренин А.А.;
6. Методика бесконтактного диагностирования топологии вмятин на нефтеналивных резервуарах / Сметанников О.О.;
7. Причины разрушения РВС / Галеев В.Б.;
8. Сооружение газохранилищ и нефтебаз / Стулов Т.Т.;
9. Принципы конструирования и экспериментально-теоретические исследования крупногабаритных резервуаров / Землянского А.А.;
10. ПБ 03-605-03 «Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов»;
11. ГОСТ 31385-2008 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия»;
12. СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства»;
13. ГОСТ Р 56542-2015 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов»;
14. ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей

|            |      |               |         |      |   |  |      |        |
|------------|------|---------------|---------|------|---|--|------|--------|
|            |      |               |         |      | <i>Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа РВС-10000 кубических метров</i> |  |      |        |
| Изм.       | Лист | № докум.      | Подпись | Дата |   |  |      |        |
| Разраб.    |      | Ахметова М.Т. |         |      | Список литературных источников  | Лит.   | Лист | Листов |
| Руковод.   |      | Чубарева Н.В. |         |      |   |  | 129  | 145    |
| Рук-ль ООП |      | Шадрина А.В.  |         |      |   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |      |        |
|            |      |               |         |      |   |  |      |        |

зоны»;

16. ГОСТ 12.1.008-76 «ССБТ. Биологическая безопасность. Общие требования»;

17. ГОСТ 12.1.010–76 «ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования»;

18. Бигус Г.А. Основы диагностики технических устройств и сооружений / Г.А. Бигус, Ю.Ф. Даниев, Н.А. Быстрова, Д.И. Галкин. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 445.;

19. ППБ 01-03 «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации»;

20. ГОСТ 12.1.005-88 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;

21. ГН 2.2.5.1313–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»;

22. Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И. Акустические методы контроля. Книга 2;

23. Глянько М.А. Техническое обследование резервуаров для нефти и нефтепродуктов методом магнитной диагностики;

24. Остояние, проблемы и перспективы применения технологии наземного лазерного сканирования для обследования вертикальных стальных, шаровых и горизонтальных резервуаров нефти и газа. Игнатьева Светлана Сергеевна, Комиссаров Александр Владимирович;

25. РД 153-39.4-078-01 «Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз»;

26. РД 03-606-03 «Инструкция по визуальному и измерительному контролю»;

27. СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85».

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Финансовый менеджмент,<br>ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 130  |

**Приложение I (справочное)**

**Development of proposals for compensating the loads of the vertical steel tank  
RVS-10000 cubic meters**

Студент

| Группа | ФИО                           | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------------|---------|------|
| 2БМ12  | Ахметова Мадина<br>Талгатовна |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность     | ФИО                              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент<br>ОНД | Чухарева Наталья<br>Вячеславовна | к. х. н.                  |         |      |

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

| Должность     | ФИО                       | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент<br>ОИЯ | Айкина Татьяна<br>Юрьевна | к. ф. н.                  |         |      |

**Development of proposals for compensating the loads of the vertical  
steel tank RVS-10000 cubic meters**

In recent years, the markets of the Russian oil and oil refining industries have steadily grown, and the number of processed products supplied to domestic and foreign markets has been increasing every year. As the production and processing of oil increase, equipment for storing and transporting petroleum products, including

tanks for storing processed products, is being produced.

*Разработка предложений по компенсации нагрузок резервуара вертикального стального типа RVS-10000 кубических метров*

| Изм.       | Лист | № докум.      | Подпись | Дата |                   |  |      |        |
|------------|------|---------------|---------|------|-------------------|--|------|--------|
| Разраб.    |      | Ахметова М.Т. |         |      | <b>Приложение</b> | Лит.   | Лист | Листов |
| Руковод.   |      | Чухарева Н.В. |         |      |                   |  | 132  | 145    |
| Рук-ль ООП |      | Шадрина А.В.  |         |      |                   | Отделение нефтегазового дела<br>Группа 2БМ12 |      |        |
|            |      |               |         |      |                   |  |      |        |

Tanks for storing petroleum products have been used in Russia since the 17th century. Currently, tanks with a capacity of up to 50,000 m<sup>3</sup> are common, and work continues to create larger tanks with a capacity of up to 100,000 m<sup>3</sup>.

Most tanks for storing petroleum products are made of low-carbon stainless steels. The manufacturing process includes two main approaches: sheet technology and rolling technology. The normative values of steels are taken according to the relevant standards and technical specifications.

The design and manufacture of tanks are carried out in accordance with the customer's requirements and technical solutions based on project documentation. Tanks must meet safety requirements, including fire, chemical and environmental safety.

Tanks for storing petroleum products are cylindrical tanks with the necessary equipment, automation, and control, which are widely used for stationary storage of oil, light petroleum products, and liquid chemical substances, including aggressive media such as acids and alkalis.

The rolling technology process is rather an industrial method, as it significantly reduces the cost and time of production. Sheet technology is used to create special tanks that work under pressure. The production of tanks using rolling technology involves automatic welding and tank assembly directly on the production site, or less frequently, in the premises of production facilities, with subsequent

delivery and installation. Sheet technologies include mechanical processing of welded edges.

### **The problems of residual operation time of steel storage tanks**

Residual operation time is total operating time of an object from the moment of the control of its technical condition to the transition to the limit state. The tank diagnostics process involves a range of actions aimed at assessing the technical state of the tank, detecting potential flaws, analyzing the received data, and providing recommendations for future tank operation. The manual [ ] specifies general

|      |      |          |         |      |            |      |
|------|------|----------|---------|------|------------|------|
|      |      |          |         |      | Приложение | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |            | 133  |

technical diagnostic methods, defect identification and measurement techniques, as well as non-destructive control methods to determine stress concentration parameters in the metal. Furthermore, the manual includes methods to calculate parameters related to metal fatigue cracks and corrosion damage. To ensure a comprehensive assessment, the diagnostic process should incorporate the calculation of residual operation time, which involves determining the level of corrosion wear, low-cycle fatigue, and crack resistance. In cases where there is low-cycle loading, tank areas prone to fatigue failure (i.e., wall, edge, bottom) may first experience fatigue damage before developing into cracks. As a result, the low fatigue calculation of tanks is conducted in two stages — fatigue accumulation and crack development until the cracks reach a critical size and trigger an avalanche-like opening.

The vertical steel tanks are operated in conditions of static and low-cycle loading. Therefore, at their diagnosis it is necessary to calculate the residual operating time taking into account the corrosion of the metal under low-cycle loading.

The residual operating time of the tank wall under low-cycle loading can be determined on the basis of the low-cycle fracture mechanics.

Extension of operating time of storage tanks has both positive and negative aspects in terms of economical expediency and strength indexes. All of these eventually affects the reliability of tanks in a significant way.

To consider the disadvantages of extending the operating time of storage tanks the following important aspects can be distinguished:

The natural aging of the materials. Long-term operation in aggressive media such as petroleum products leads to a change in the properties of the material (e. g, steels) in the direction of increasing strength and decreasing plasticity. As a consequence, the cold resistance of the material is significantly reduced, which leads to a large loss of the cold resistance of the material and, as a result, increases the risk of accidents or tank failures

The problem of early detection of partial or complete loss. The problem of early detection of partial or complete loss of tank serviceability during long-term

|      |      |          |         |      |            |      |
|------|------|----------|---------|------|------------|------|
|      |      |          |         |      | Приложение | Лист |
|      |      |          |         |      |            | 134  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |            |      |

operation is restricted by a number of factors such as lack of scientifically substantiated approaches implemented in practice on a production scale in the field of technical diagnostics. Determining residual operation time of tanks is limited by indicators of existing diagnostics methods which, in their turn, are limited by technical and normative documents.

The lack of specific regulatory documents on the diagnosis of the technical control of the tanks at the end of their operating life. The strength calculations of the tanks that are in operation for a long time are limited to the geometric parameters of the detected defects and do not take into account the development of nascent in-plane defects.

### **Analysis of accident risk and reasons of accidents**

Vertical steel storage tank accidents often occur due to settling of their foundations, which occurs unevenly with the highest values at the walls and lowest at the center. This leads to tensile stresses at the bottom and changes in the shape of the cylindrical shell. Dents form and can transform into cracks, which can ultimately rupture the tank and contaminate the environment with oil. Even uniform settlement does not guarantee the safety of nearby utilities, as joints can be destroyed. This settling is primarily due to the weight of the tank structure and stored liquid compacting the soil, leading to local subsidence and compaction that cannot be matched by artificial bases. Additional deformation in the lower wall and bottom edge of the connection can lead to additional stresses, ultimately causing plate failures and destruction of mating joints. In fact, 38 of 43 failure cases over the last 30 years were due to uneven settlement. Therefore, estimating the stress-strain state of the tank under load taking into account its spatial position and geometrical form is crucial to determine its technical condition and conduct timely repair work.

### **The methods of analysis of stress and strain state of storage tanks**

The safety of storage tanks is determined by a licensed expert organization. Nondestructive testing is a crucial component of safety assessment. Storage tank inspections may involve partial or complete inspection, depending on the analysis of previous work. Partial inspections are conducted on accessible areas of the tank

|      |      |          |         |      |            |      |
|------|------|----------|---------|------|------------|------|
|      |      |          |         |      | Приложение | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |            | 135  |

during normal operation, while full inspections require clearance for hot work, complete removal of stored product, cleaning, and degassing. Full inspections produce a more accurate assessment of technical condition and identify both acceptable and unacceptable defects. Technical control at hazardous production facilities includes destructive, damaging, and non-destructive inspections. Destructive inspections involve sampling and offline analysis in specialized laboratories. The object cannot be operated until the sample sites are restored. Damaging inspections are performed directly on the object and may leave traces that are irrelevant to safe operation. These methods can include: hardness testing (measuring the hardness of the material surface by means of a dynamic hardness tester which produces a shallow indentation metallographic arc spectroscopy (composition of the optical spectrum of the volt arc produced between the electrode of the device (styloscope) and the surface of the object, in this case, the place of control remains cauterized).

Non-destructive testing includes methods of testing in which in some cases there is no need to stop the working process of an object of control. The control is carried out directly on the object without damaging the control area.

### **Software programs for engineering analysis**

To address a complex issue like pipeline engineering, specialists and experts utilize specialized numerical simulation packages to their advantage. These packages are equipped with advanced engineering analysis tools, such as the CAE systems of engineering like ABAQUS, ANSYS, COSMOS, I-DEAS, NASTRAN, and others. Their capabilities include qualitative simulation of systems of different physical nature and studying their response to external stimuli like voltage, temperature, velocity, electromagnetic fields, and so on.

Strength modeling is also used alongside mathematical models to create reliable and efficient standard manuals, guidelines and solutions for enhancing mechanical reliability. These programs are beneficial as they help decrease development cycles, lower product costs, and increase product quality by verifying acceptable assembly variants. SolidWorks is one of the most widely used software

|      |      |          |         |      |            |      |
|------|------|----------|---------|------|------------|------|
|      |      |          |         |      | Приложение | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |            | 136  |

CAD suites for building three-dimensional models, while the Ansys software product is currently the most preferred research software, characterized by file compatibility for all platforms.

One specific use of Ansys is analyzing stress and strain of pipelines with the finite elements method. Its multi-purpose orientation enables the same model to be used for life cycle assessment, providing convenience for users in solving a wide range of engineering problems. The finite elements method is based on representing a solid with an infinite number of degrees of freedom using a series of finite elements connected at node points, which transfer force interactions between elements via unknown node displacements. The number of degrees of freedom for one element is determined by the number of node motions.

The need to simulate the plastic properties of metals occurs when stressed parts and individual structural elements of the structure work are beyond the limits of elasticity.

The Ansys computational package allows to simulate the geometry of any design element, taking into account both long and short-term external and internal influences leading to development of complicating processes. At the same time, finding durability consists in calculating the number of blocks stresses that the element or structure under study can withstand.

If the amount of input data is insufficient (for example, if there is no executive documentation), the number of measurement points (for levelling, strain and/or stress measurements) must be increased. Geodetic measurements are supplemented by length measures (ex. a metal tape measure) and special measuring tools and devices (ex. a level) in accordance with RD 03-606-03 [30].

Based on the above, a conclusion can be made that the assessment on the state of the integrity of complex technical structures such as tanks, can be carried out by different technical devices using different techniques. But the accuracy of the information obtained can be higher only if additional tools are used. Simulation programs, engineering analysis programs and modern equipment will not only enable to confirm the already changed stress-strain state, but also to predict its

|      |      |          |         |      |            |      |
|------|------|----------|---------|------|------------|------|
|      |      |          |         |      | Приложение | Лист |
|      |      |          |         |      |            | 137  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |            |      |

possible changes which may happen in the nearest period possible to a technical facility for the storage of oil and petroleum products.

Therefore, the research objective of the study is to apply a combined approach to assessing the deviated mode of tank operation. The methods of 3D scanning and ANSYS software package are used.

The first terrestrial laser scanners appeared in the last century. The laser scanner has been at the forefront of the geodetic market for years now, finding expanding applications. A similar trend is typical for the oil and gas industry, where the use of NLS is a diagnostic instrumentation to inspect VFLs. Traditional methods of tank inspection are no longer reliable or efficient. Laser scanning, however, allows for highly accurate assessment of tank condition. Three-dimensional models produced through NLS technology can provide crucial data such as grading tables, deviations from an ideal shape, and verticality of the tank walls and axis. This technology was employed in the investigation of a vertical steel tank located in Taimyrsky Dolgano-Nenetsky Municipal District. The region is characterized by low hills and swampy floodplains of rivers, with thermokarst lakes dotting the landscape. Although access to the area is limited, air transport and winter roads make travel possible. Overall, laser scanning technology offers promising solutions to the challenges of tank maintenance and inspection. The present-day relief of the area was formed as a result of accumulation processes caused by glaciers and marine influence creating an intricate series of landforms. The specific study area is located in the glacial complex zone which contains two main types of relief: glacial-accumulative and water-glacial (fluvioglacial). The former is characterized by ridgy moraines and lacustrine-hilly formations located along its margins. This relief type includes countless lakes of varying shapes and sizes that lie in depressions between numerous hills. Lacustrine hollows formed as a result of thermokarst processes, and swamps are also common. The water-glacial relief type consists of a flat surface that gently slopes upwards, characterized by poorly defined watersheds and drainage troughs. The relief of the area is shaped by erosion-accumulative fluvial activity and denudation, with significant contributions from permafrost-related processes such as

|      |      |          |         |      |            |      |
|------|------|----------|---------|------|------------|------|
|      |      |          |         |      | Приложение | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |            | 138  |

polygonal soils, frost bumps, and tundra medallions. The region is situated in the southern subarctic shrub tundra, with shrubs up to 2-3 meters tall found near river valleys and around lakes. The climate of the area is subarctic, with January being the coldest month at an average temperature of  $-28^{\circ}\text{C}$ , and July being the warmest month at an average temperature of  $+12.3^{\circ}\text{C}$ . The region experiences northwest winds during summers and southeast winds during winters, with an average annual wind speed of 6 m/sec. The area witnesses minimal precipitation of around 200-250 mm annually, with snow lasting from mid-October until the end of June. Air masses usually move from west to east, but in autumn, air masses from the Barents and Kara Seas move from the opposite direction. The unstable weather conditions throughout the year are caused by frequent changes in air currents. The area under investigation is located to north of the Arctic, in the Suzunskoye field oil there is a loading unit and a gas turbine power plant containing a vertical welded steel tank, measuring 11.9 m in height and 34200 mm in diameter. The tank is designed to store marketable oil with a specific weight of  $860\text{ kg/m}^3$ . Its structure consists of steel 09G2S GOST 5058-65 with added impact strength at a temperature of  $-40^{\circ}\text{C}$ , and its roof deck is made of St3. It is imperative that the tank is firmly secured to the lower part of the wall.

In order for the VST-10000 wall to withstand various loads such as hydrostatic pressure, wind loads, vacuum pressure, snow load, and the weight of equipment and roofing, these loads must be uniformly applied to the wall to ensure its stability and longevity.

To analyze the condition of tanks, it is important to measure their geometric parameters while taking into account all allowed deviations. This process prevents dangerous deformations of the structures by applying engineering measures. Three-dimensional scanning determines the coordinates of points on physical objects surfaces to create spatial mathematical models, effectively meeting accuracy requirements. In this case, the Leica C10 ground laser scanner was employed to measure the tank from multiple positions at a distance up to a 25 m and with point spacings ranging from 2 to 4 mm. This data was combined with Leica Cyclone

|      |      |          |         |      |            |      |
|------|------|----------|---------|------|------------|------|
|      |      |          |         |      | Приложение | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |            | 139  |

software to create a point-to-point model of the tank. The results were then used to determine the deformations of the tank wall belt courses accurately. Additional measurements were taken at the points corresponding to vertical joints of the 1st chord to measure the belt geometry relative to the vertical. The external scanning of the tank enabled a qualitative estimate of the tank base location, stationary metal structures, working platforms, and other essential factors.

The Load Compensation System for Tank Inlets and Outlets (LCS) is a comprehensive technological system designed to ensure the reliable operation of pipeline systems that transport liquids. The LCS has the ability to compensate for relative spatial movements that arise from changes in environmental conditions. This system is capable of maintaining the tightness of pipeline systems up to a nominal pressure of 1 MPa, at operating temperatures ranging from minus 30°C to plus 50°C.

The LCS has a wide range of applications and is used for piping connections to tank inlets and outlets in steel vertical storage tanks such as RVs, RVSP, RVSPK nominal volumes of 10 to 50 thousand cubic meters and tank wall heights of 18.1 meters and less, with process pipelines of nominal diameter from 400 to 700 mm and nominal pressure up to 1.0 MPa.

The LCS helps reduce stresses on tank inlet and outlet piping that arise during settlement of tank foundations and support for process pipelines, as well as during deformation of tank walls and pipelines during changes in pipeline pressure, air and product temperature, product density, changes in pipeline weight during filling and draining.

The Load Compensation System for Tank Inlets and Outlets belongs to technological pipelines with a nominal pressure of up to 10 MPa and is classified as a group B pipeline, category III for the transfer of flammable liquids according to the relevant GOST.

The system can be used in macroclimate areas with cold and moderate climates, as well as in areas with high snow loads. The LCS pipeline wall temperature during steam cleaning should not exceed +80°C. In this case, tank foundation settlement of no more than 250 mm and overall tilt of no more than ±100

|      |      |          |         |      |            |      |
|------|------|----------|---------|------|------------|------|
|      |      |          |         |      | Приложение | Лист |
|      |      |          |         |      |            | 140  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |            |      |

mm is permissible. The allowable settlement of support for process pipelines should not exceed  $\pm 10$  mm.

During the implementation of the graduation project, the design features and technical parameters of a  $10000\text{m}^3$  vertical steel storage tank (VST) were analyzed. An analytical calculation of nominal values of the thickness of walls, roof, and bottom was conducted for the VST. 3D scanning of the VST surfaces was used to create an accurate geometric model of the tank. This model served as a basis for the development of a calculation model in the finite element method software ANSYS. Stress, deformation and displacement fields were determined as characteristic to the structure material. These results were compared against allowable values according to GOST R 52857.1-2007 “Vessels and apparatus. Strength calculation methods”, GOST R 52857.11-2007 “Design standards for steel vertical tanks with a volume of  $1000-50000\text{ m}^3$ ”, and RD 16.01-60.30.00-KTN-026-1-04. The comparison showed that maximum calculated stresses do not exceed allowable values.

### References

1. Accidents and Reliability of Steel Tanks / I. M. Rosenstein. - Moscow: Nedra, 1995.
2. Study of stress-strain state of the tank wall under uneven foundation settlements by Hoppersky G.G.
3. Stress-strain state of large tanks during repair work by Tarasenko A.A.
4. Vertical steel tanks, ensuring the reliability of operation of RVS by Malin A.D.

|      |      |          |         |      |            |      |
|------|------|----------|---------|------|------------|------|
|      |      |          |         |      | Приложение | Лист |
|      |      |          |         |      |            | 141  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |            |      |

5. Development of scientific foundations for methods of repairing vertical steel tanks by Burenin A.A.
6. Methodology for non-destructive testing of dents topology on oil storage tanks by Smetannikov O.O.
7. Causes of RVS destruction by Galeev V.B.
8. Construction of gas storage facilities and oil depots by Stulov T.T.
9. Principles of designing and experimental-theoretical studies of large tanks by Zemlyansky A.A.
10. PB 03-605-03 Rules for the device of vertical cylindrical steel tanks for oil and oil products
11. GOST 31385-2008 Vertical cylindrical steel tanks for oil and oil products. General technical conditions.
12. SP 11-105-97 Engineering-geological surveys for construction.
13. GOST R 56542-2015 Non-destructive testing. Classification of types and methods of checks for compliance with the reliability requirements of objects.





| Капитальные<br>затраты             | Сумма             | 11/2024           | 12/2024        | 01/2024        | 02/2024        | 03/2024        | 04/2024        | 05/2024        | 06/2024        | 07/2024        | 08/2024           |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| Смета затрат на реализацию проекта | <b>3 272 109</b>  | 45 000 000        | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 20 000 000        |
| Расчет основной заработной платы   | <b>27</b>         | 432 900           | 0              | 0              | 0              | 175 500        | 0              | 0              | 0              | 0              | 0                 |
| Отчисления во внебюджетные фонды   | <b>29</b>         | 39 780            | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0                 |
| Расчет бюджета затрат НТИ          | <b>3 060 750</b>  | 120 000           | 120 000        | 120 000        | 120 000        | 550 000        | 550 000        | 550 000        | 550 000        | 550 000        | 0                 |
| <b>ИТОГО</b>                       | <b>68 878 180</b> | <b>45 592 680</b> | <b>120 000</b> | <b>120 000</b> | <b>120 000</b> | <b>725 500</b> | <b>550 000</b> | <b>550 000</b> | <b>550 000</b> | <b>550 000</b> | <b>20 000 000</b> |

| Амортизация                     | Сумма | 11/2024    | 12/2024    | 01/2024    | 02/2024    | 03/2024    | 04/2024    | 05/2024    | 06/2024    | 07/2024    | 08/2024    |
|---------------------------------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Первонач. стоимость <i>пуск</i> |       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 23         | 23         | 23         | 23         | 5 366 852  |
| Незавершенное стр-во            |       | 38 604 153 | 38 705 847 | 38 807 542 | 38 909 237 | 39 524 068 | 39 990 147 | 40 456 248 | 40 922 350 | 41 388 452 | 52 970 775 |
| Амортизация <i>ставка</i>       |       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 37 270     |
| Остаточная стоимость            |       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 23         | 23         | 22         | 22         | 5 329 582  |

