XXX

**ВАГОН-ЦИСТЕРНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**МОДЕЛЬ XXX**

Расчет прочности и устойчивости конструкции

**XXX РР7**

**Содержание**

[1 Цель расчета 3](#_Toc135902312)

[2 Исходные данные для расчета 4](#_Toc135902313)

[3 Порядок расчета 8](#_Toc135902314)

[4 Расчет на прочность элементов вагона 23](#_Toc135902315)

[5 Расчет устойчивости оболочки котла и рамы вагона 33](#_Toc135902316)

[6 Расчет элементов тормозного оборудования 35](#_Toc135902317)

[7 Расчет предохранительных устройств и элементов крепления подвесного оборудования 38](#_Toc135902318)

[8 Расчет прочности помостов, лестниц, подножек и поручней 44](#_Toc135902319)

[9 Расчет вагона на прочность при перевозке на пароме 46](#_Toc135902320)

[10 Заключение 48](#_Toc135902322)

[11 Ссылочные документы 50](#_Toc135902323)

[Приложение А](#_Toc135902324) [Результаты расчета прочности 52](#_Toc135902325)

# 1 Цель расчета

## 1.1 Цель расчета – проверка прочности и устойчивости элементов конструкции рамы и котла вагона-цистерны для перевозки нефтепродуктов модели 15-9993 (далее – вагон), изготавливаемого в соответствии с комплектом конструкторской документации ЦДЛР 0113.00.00.000. Вагон укомплектован тележками модели 18−9855, тип 3 ГОСТ 9246-2013, изготовленными согласно конструкторской документации 4701‑09.00.00.000 (исполнения 4701-09.00.00.000-00 и 4701‑09.00.00.000-01 или 4701‑09.00.00.000-04 и 4701‑09.00.00.000-05).

## 1.2 Расчет выполнен в соответствии с ТР ТС 001/2011, ТР ТС 032/2013, ГОСТ 33211-2014, ГОСТ 33274-2015.

# 2 Исходные данные для расчета

## 2.1 Параметры вагона, принятые в расчете, определялись в соответствии с комплектом документации XXX.

## 2.2 Основные технические характеристики вагона представлены в таблице 1.

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
| Грузоподъемность максимальная, т |  | 73,3 |
| Масса тары вагона максимальная, т |  | 26,7 |
| Максимальная расчетная статическая осевая нагрузка, кН (тс) |  | 245 (25) |
| Конструкционная скорость, км/ч (м/с) |  | 120 (33,3) |
| Габарит кузова по ГОСТ 9238–2022 | — | 1-Т |
| Модель тележки (тип 3 ГОСТ 9246–2013) | — | 18-9855 |

## 2.3 Пространственная геометрическая модель кузова вагона представлена на рисунке 1.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Рисунок 1 – Пространственная геометрическая модель кузова вагона |

## 2.4 Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.

| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
| --- | --- | --- |
| Масса вагона брутто, т |  | 100 |
| Ускорение свободного падения, м/с2 |  | 9,81 |
| Масса тележки, кг |  | 4920 |
| Расстояние между задними опорными поверхностями упоров автосцепных устройств, м | *2L* | 10,020 |
| Длина вагона по осям сцепления автосцепных устройств, м |  | 12,020 |
| База вагона, м |  | 7,800 |
| Радиус расчетной кривой, м | *R* | 250,000 |
| Одностороннее боковое перемещение шкворневого сечения кузова вагона, м | δ | 0,040 |
| Расчетная длина корпуса автосцепного устройства, м:  – при растяжении  – при сжатии |  | 0,900  1,000 |
| Разность уровней осей автосцепных устройств сцепленных вагонов, м | *е* | 0,100 |
| Назначенный срок службы вагона, лет | – | 32 |
| Площадь поперечной проекции внутренней поверхности днища котла, м2 | *S*дн | 8,24 |
| Избыточное внутреннее давление паров груза котле при температуре +50 ˚С, МПа | *p*пар | 0,07 |
| Геометрические параметры тормозной рычажной передачи, мм |  | 310 |
|  | 350 |
|  | 140 |
|  | 410 |
|  | 225 |
|  | 100 |
| Максимальное расчетное давление воздуха в тормозном цилиндре, кПа |  | 340 |
| Момент на штурвале стояночного тормоза, Н·м |  | 100 |
| Коэффициент полезного действия стояночного тормоза |  | 0,2 |
| Передаточное отношение червячной передачи |  | 82 |
| Среднее расстояние от точки крепления тяги до оси червячного колеса, м |  | 0,087 |
| Диаметр тормозного цилиндра, м | *d*ц | 0,254 |

## Таблица 2

## 2.5 Прочность вагона оценивают для следующих вариантов сочетания нагрузок:

## а) в соответствии с ГОСТ 33211–2014 по расчетным режимам Iа–Iг рассматривают относительно редкое сочетание экстремальных нагрузок. В эксплуатации данным режимам расчета соответствует:

## 1) осаживание и трогание тяжеловесного состава с места;

## 2) соударение вагонов при маневрах, в том числе при роспуске с сортировочных горок;

## 3) экстренное торможение в поездах при малых скоростях движения;

## б) по специальному дополнительному расчетному режиму рассматривают сочетание нагрузок, возникающих при ремонте;

## в) по специальному дополнительному расчетному режиму рассматривают сочетание нагрузок, возникающих в режиме гидравлического испытания (далее – гидроудар).

# 3 Порядок расчета

## Расчет выполнен с использованием метода конечных элементов, реализованного в специализированной программной системе конечно-элементного анализа Siemens NX.

## Подготовка данных о топологии конечно-элементной расчетной схемы, вычисление напряжений в элементах, распределение нагрузок в конструкции, а также построение полей напряженно-деформированных состояний проведены с использованием прикладного программного обеспечения.

## Для создания конечно-элементной модели, описывающей подкрепляющие и несущие элементы конструкции вагона, используют:

## ‑ пространственные квадратичные оболочечные конечные элементы;

## ‑ пространственные квадратичные элементы в форме криволинейных параллелепипедов и тетраэдров.

## То есть в рамках каждого конечного элемента перемещения аппроксимируют полиномом второй степени. Вид конечных элементов представлен соответственно на рисунках 2 и 3.

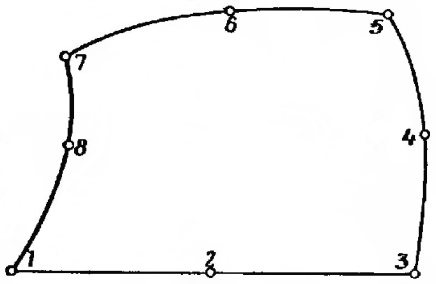
 

Рисунок 2 – Пространственные оболочечные квадратичные конечные элементы

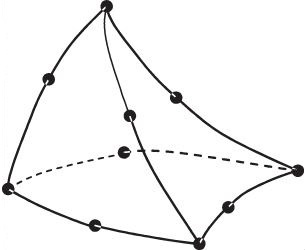
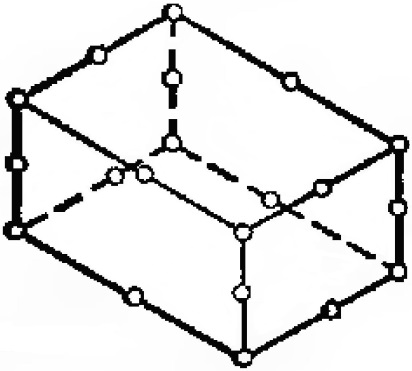
 

Рисунок 3 – Пространственные объемные квадратичные конечные элементы

## В качестве глобальной системы координат при составлении расчетной схемы была выбрана правая Декартова система с началом в центре отверстия в хребтовой балке. Ось «X» системы координат направлена поперек вагона, ось «Y» – вдоль продольной оси вагона, ось «Z» – вертикально вверх.

## Вид расчетной модели с сеткой конечных элементов приведен на рисунке 4.

рисунок 4 – Общий вид расчетной модели с сеткой конечных элементов

## Для корректного моделирования взаимодействия вагона и тележки принята схема кинематических граничных условий, представленная на рисунке 5.

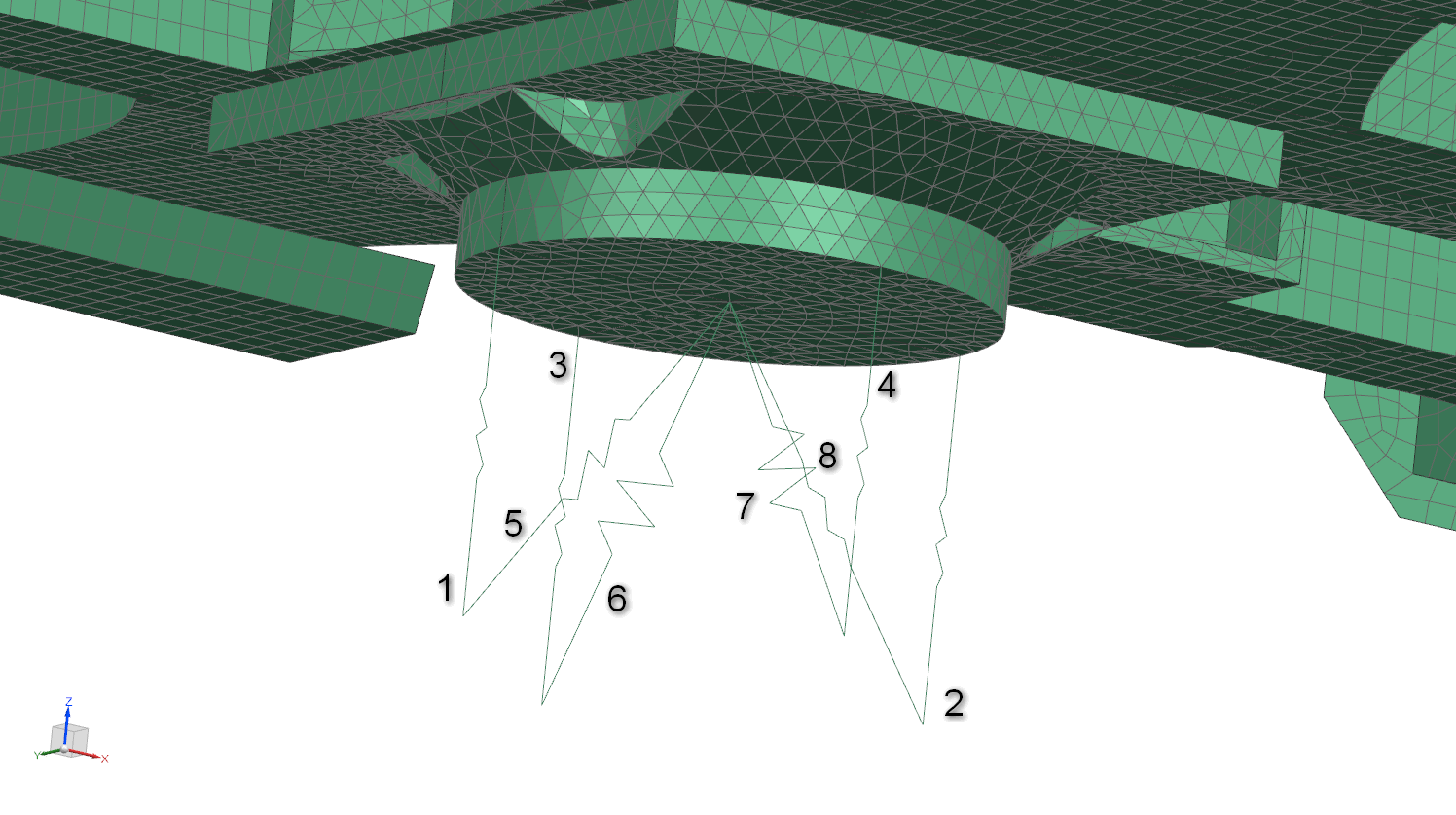


рисунок 5 – Расчетная схема опирания пятника

## Пружины 1, 2, 3, 4 имеют длину 240 мм, расположены вертикально. Пружины 1, 2 лежат в плоскости, являющейся плоскостью симметрии вагона и проходящей через оси шкворней. Пружины 3, 4 лежат в перпендикулярной плоскости. Пружины 3, 4 необходимы для обеспечения сходимости решения. Пружины 5, 6, 7, 8 необходимы для того, чтобы ответные точки крепления пружин 1 – 4, соединяющие точки начала пружин с центром пятника, могли свободно перемещаться вдоль оси вагона. Пружины, изображенные на рисунке 5, имеют следующие значения продольной жесткости:

## – пружины 1, 2 – 1970000 Н/м;

## – пружины 3, 4 – 2420000 Н/м (суммарная жесткость пружин 1, 2, 3, 4 соответствует рессорному комплекту тележки модели 18-9855);

## – пружины 5, 6, 7, 8 – 10000 Н/м.

## Пятники фиксируются в направлении, поперечном к вагону, основания пружин закрепляются по всем степеням свободы, кроме поперечной.

## В местах опирания котла на лежневые опоры задавалось условие контактного взаимодействия между обечайкой котла и материалом прокладки (полиэтилен) на лежневой опоре.

## Действие хомутов на котел моделировалось контактным взаимодействием стальных полос с материалом котла. Предварительный натяг хомутов задавался равным 2 мм с каждого его конца, что соответствует растягивающему усилию затяжки хомута в 106 кН.

## При расчете принято следующее допущение: материал конструкции работает в упругой стадии деформирования и обладает постоянными механическими характеристиками – модулем упругости, равным 210 ГПа, и коэффициентом Пуассона, равным 0,28.

## Оценка прочности вагона проведена в соответствии с расчетными режимами согласно разделу 4 и таблице 1 ГОСТ 33211–2014. Расчет конструкции выполнен при действии наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузок. Перечень сочетаний расчетных нагрузок приведен в таблице 3.

### Таблица 3 – Сочетание расчетных нагрузок для режимов Iа- Iг

| Расчетный случай | Расчетный режим | Сочетание нагрузок | | Значение |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Iг | 1.1 Продольная нагрузка | - квазистатическая сила растяжения (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | +2,000 МН |
| 1.2 Вертикальные нагрузки | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12, 3.13 |
| - вертикальная нагрузка на консоль вагона (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | -0,111 МН |
| ‑ кососимметричные силы  (пункт 4.1.8 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.18 |
| 1.3 Боковая нагрузка | - боковая сила  (п.4.1.5 ГОСТ 33211–2014) | 0,048 МН |
| 1.4 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 |
| 2 | Iв | 2.1 Продольная нагрузка | - квазистатическая сила сжатия  (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | -2,500 МН |
| 2.2 Вертикальные нагрузки | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12, 3.13 |
| - вертикальная нагрузка на консоль вагона (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | -0,125 МН |

Продолжение таблицы 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Расчетный  случай | Расчетный  режим | Сочетание нагрузок | | Значение |
|  |  |  | ‑ кососимметричные силы  (пункт 4.1.8 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.18 |
| 2.3 Боковая нагрузка | - боковая сила (п.4.1.5 ГОСТ 33211–2014) | 0,192 МН |
| 2.4 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 |
| 3 | Iг | 3.1 Продольная нагрузка | - квазистатическая сила растяжения (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | +2,000 МН |
| 3.2 Вертикальные нагрузки | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12, 3.13 |
| - вертикальная нагрузка на консоль вагона (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | +0,111 МН |
| ‑ кососимметричные силы  (пункт 4.1.8 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.18 |
| 3.3 Боковая нагрузка | - боковая сила  (п.4.1.5 ГОСТ 33211–2014) | 0,048 МН |
| 3.4 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 |
| 4 | Iв | 4.1 Продольная нагрузка | - квазистатическая сила сжатия  (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | -2,500 МН |
| 4.2 Вертикальные нагрузки | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12, 3.13 |
| - вертикальная нагрузка на консоль вагона (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | +0,125 МН |
| ‑ кососимметричные силы  (пункт 4.1.8 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.18 |
| 4.3 Боковая нагрузка | - боковая сила  (п.4.1.5 ГОСТ 33211–2014) | 0,192 МН |
| 4.4 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 |
| 5 | Iб | 5.1 Продольные нагрузки | - рывок (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | +2,500 МН |
| - нагрузка от силы инерции рамы и котла вагона  (п.4.1.2 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.16 |
| - нагрузка от силы инерции тележек (п.4.1.2 ГОСТ 33211–2014) | 0,246 МН |
| - давление от гидроудара  (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.17 |

Продолжение таблицы 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Расчетный  случай | Расчетный  режим | Сочетание нагрузок | | Значение |
|  |  | 5.2 Вертикальные нагрузки | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12, 3.13 |
| - вертикальная нагрузка на консоль вагона (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | +0,139 МН |
| ‑ кососимметричные силы  (пункт 4.1.8 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.18 |
| 5.3 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 |
| 6 | Iа | 6.1 Продольные нагрузки | - удар (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | -2,500 МН |
| - нагрузка от силы инерции рамы и котла вагона  (п.4.1.2 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.16 |
| - нагрузка от силы инерции тележек (п.4.1.2 ГОСТ 33211–2014) | 0,246 МН |
| - давление от гидроудара  (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.17 |
| 6.2 Вертикальные нагрузки | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12, 3.13 |
| - вертикальная нагрузка на консоль вагона (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | -0,125 МН |
| ‑ кососимметричные силы  (пункт 4.1.8 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.18 |
| 6.3 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 |
| **7** | Iб | 7.1 Продольные нагрузки | - рывок (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | +2,500 МН |
| - нагрузка от силы инерции рамы и котла вагона  (п.4.1.2 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.16 |
| - нагрузка от силы инерции тележек (п.4.1.2 ГОСТ 33211–2014) | 0,246 МН |
| - давление от гидроудара  (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.17 |
| 7.2 Вертикальные нагрузки | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12, 3.13 |
| - вертикальная нагрузка на консоль вагона (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | +0,139 МН |
| ‑ кососимметричные силы  (пункт 4.1.8 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.18 |
| 7.3 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 |

Продолжение таблицы 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Расчетный  случай | Расчетный  режим | Сочетание нагрузок | | Значение |
| 8 | Iа | 8.1 Продольные нагрузки | - удар (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | -2,500 МН |
| - нагрузка от силы инерции рамы и котла вагона  (п.4.1.2 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.16 |
| - нагрузка от силы инерции тележек (п.4.1.2 ГОСТ 33211–2014) | 0,246 МН |
| - давление от гидроудара  (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.17 |
| 8.2 Вертикальные нагрузки | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12, 3.13 |
| - вертикальная нагрузка на консоль вагона (п.4.1.1 ГОСТ 33211–2014) | +0,125 МН |
| ‑ кососимметричные силы  (пункт 4.1.8 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.18 |
| 8.3 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 |

## Квазистатическая сила растяжения и рывка прикладывалась при расчете в узлах расчетной схемы, соответствующих ударной поверхности переднего упора рамы вагона.

## Квазистатическая сила сжатия и удара прикладывалась при расчете в узлах расчетной схемы, соответствующих ударной поверхности заднего упора рамы вагона.

## Нагружение собственным весом производилось путем расчета массы металлоконструкций вагона и распределением ее по узлам расчетной схемы, с последующим приложением к расчетной схеме ускорения 9,81 м/с2 в каждом узле вдоль вертикальной оси «Z».

## Нагрузка от действия веса груза (жидкости, заполняющей котел) прикладывалась к расчетной модели в виде гидростатического (линейно возрастающего в направлении, противоположном направлению оси «Z») давления, распределенного по внутренним поверхностям элементов, образующих котел. Значение максимального давления определялось, исходя из грузоподъемности вагона и условия полного заполнения котла.

## Вертикальная нагрузка на консоль вагона , Н, возникающая от действия растягивающих или сжимающих сил при положительном и отрицательном нецентральном взаимодействии автосцепных устройств двух соседних вагонов, прикладывалась в соответствии с разделом 4 ГОСТ 33211–2014. Расчет усилий проводился по следующей зависимости

, (1)

где *N* – сила, приложенная вдоль оси автосцепного устройства, величина которой устанавливается в соответствии с расчетными режимами, Н;

*е,*  – см. таблицу 2.

## В результате расчета получен ряд значений вертикальных составляющих сил от внецентренного взаимодействия автосцепных устройств вагонов при растяжении-сжатии при различных величинах продольной силы (таблица 3). Место приложения нагрузки определяют согласно разделу 4 ГОСТ 33211–2014.

## Поперечная составляющая продольной квазистатической силы, возникающая при взаимодействии между вагонами в кривых, при движении поезда и маневровой работе, прикладывалась в узлах расчетной схемы, соответствующих ударным поверхностям задних (в случае сжатия) и передних (в случае растяжения) упоров рамы вагона. Значения поперечной силы рассчитывались согласно разделу 4 ГОСТ 33211–2014. Нагрузка от действия боковых сил взаимодействия между вагонами в кривых при движении поезда и маневровой работе определяется в соответствии с разделом 4 ГОСТ 33211–2014. Для случая действия растягивающих сил расчет боковой силы, действующей через автосцепное устройство, , кН, проводился в соответствии с формулой

, (2)

где *2L*с*,* *R* – см. таблицу 2.

## Для случая действия сжимающих сил расчет нагрузки проводился в соответствии с формулой

, (3)

где *Н* – боковая сила, действующая на пятник, Н;

*L, 2l* – см. таблицу 2.

## В результате расчета был получен ряд значений поперечных сил при растяжении и сжатии вагона для различных величин продольной силы. Значения поперечной нагрузки для принятых расчетных случаев приведены в таблице 3.

## Нагрузку от силы инерции рамы и котла вагона, возникающую при действии ударов и рывков, прикладывают в виде ускорения к узлам расчетной модели рамы и котла параллельно оси координат «X» в направлении, противоположном направлению удара. Величину ускорения , испытываемого груженым вагоном, вычисляют согласно разделу 4 ГОСТ 33211–2014 по формуле

, (4)

где – см. таблицу 2.

При подстановке данных в формулу (4) для режимов Iа и Iб получают следующие результаты:

‑ при ударе 2,5 МН – = 25 м/с2;

‑ при рывке 2,5 МН – = 25 м/с2.

## Аналогично прикладывают силу инерции тележек – в виде силы, распределенной по узлам элементов нижних поверхностей пятников рамы, находящихся в контакте с поверхностями подпятников тележек.

Силу инерции тележек определяют по формуле

, (5)

где – см. таблицу 2.

## Нагрузку от действия гидроудара (давления) , Па, возникающую при ударах и рывках, прикладывают к внутренним поверхностям элементов соответствующего днища и всей обечайки котла в виде равномерно распределенного внутреннего избыточного давления. Величину давления рассчитывают, исходя из условия равномерного распределения силы инерции массы груза (жидкости, заполняющей котел) по площади поперечной проекции днища согласно разделу 4 ГОСТ 33211–2014 по формуле

## , (6)

где , *S*дн – см. таблицы 1 и 2, соответственно.

При подстановке данных в формулу (6) получают следующие результаты:

- при ударе 2,5 МН – 222 кПа;

- при рывке 2,5 МН – 222 кПа.

## Вертикальные кососимметричные силы, представляющие собой систему взаимно уравновешенных вертикальных сил, согласно разделу 4 ГОСТ 33211–2014 прикладывают к узлам расчетной модели, соответствующим ответным поверхностям боковых скользунов на раме вагона, расположенных по диагонали.

Вертикальную кососимметричную силу , кН, определяют по формуле

, (7)

где – вертикальное эквивалентное смещение в месте приложения кососимметричной силы, соответствующее вертикальному отводу одной рельсовой нити, равному 3,2 мм/м; = 0,025;

– минимальное значение динамического прогиба бокового скользуна, м, =0,008 м;

– расстояние между продольными осями боковых скользунов надрессорной балки тележки, м, =1,524 м;

– расстояние между кругами катания колес одной колесной пары, м,   
 = 1,58 м;

– жесткость рессорного комплекта, расположенного под одним концом надрессорной балки тележки, Н/м, =2271 кН/м;

– жесткость кузова, Н/м, =62,5 МН/м.

При подстановке данных в формулу (7) получают =4733 Н.

## Расчет конструкции на ремонтные нагрузки проводился с использованием дополнительных расчетных схем, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 – Сочетание расчетных нагрузок при ремонтных режимах

| Расчетный случай | Расчетный режим | Сочетание нагрузок и схема опирания рамы и котла | | Значение |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 9 | Ремонтный 1 | 9.1 Вертикальная нагрузка | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12 и 3.13 |
| 9.2 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 МПа |
| 9.3 Схема опирания | - на концы шкворневых балок  (п.4.2 ГОСТ 33211–2014) | - |
| 10 | Ремонтный 2\* | 10.1 Вертикальная нагрузка | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12 и 3.13 |
| 10.2 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 МПа |
| 10.3 Схема опирания | - в зонах, предусмотренных для подъема вагона на домкратах (п.4.2 ГОСТ 33211–2014) | - |
| 11 | Ремонтный 3 | 11.1 Вертикальная нагрузка | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12 и 3.13 |
| 11.2 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07МПа |
| 11.3 Схема опирания | - на концы одной шкворневой балки и тележку  (п.4.2 ГОСТ 33211–2014) | - |
| 12 | Ремонтный 4 | 12.1 Вертикальная нагрузка | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12 и 3.13 |
| 12.2 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 МПа |
| 12.3 Схема опирания | - на один конец шкворневой балки и тележку | - |

Продолжение таблицы 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Расчетный случай | Расчетный режим | Сочетание нагрузок и схема опирания рамы и котла | | Значение |
| 13 | Ремонтный 5 | 13.1 Вертикальная нагрузка | - собственный вес вагона  (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункт 3.12 |
| 13.2 Схема опирания | - на концы шкворневых балок, расположенных по диагонали  (п.4.2 ГОСТ 33211–2014) | - |
| 14 | Ремонтный 6\*\* | 14.1 Вертикальная нагрузка | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза (п.4.1.3 ГОСТ 33211–2014) | Пункты 3.12 и 3.13 |
| 14.2 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное внутреннее давление в котле (п.4.1.7 ГОСТ 33211–2014) | 0,07 МПа |
| 14.3 Схема опирания | - на концевую балку в зонах на расстоянии 0,79 м от оси пути и тележку (п.4.2 ГОСТ 33211–2014) | - |
| \* Места опирания девятого и десятого расчетных случаев совпадают согласно конструкторской документации.  \*\* Оценка прочности несущей конструкции вагона при действии сил, возникающих при четырнадцатом расчетном случае (шестой ремонтный режим), не проводилась. Подъем груженого вагона под концевую балку не предусмотрен конструкторской документацией. | | | | |

## Котел вагона, предназначенного для перевозки жидких грузов согласно п. 4.3.1 а) ГОСТ 33211–2014, проверяют на прочность при действии давлений в соответствии с главой 6.20 Приложения 2 к СМГС «Правила перевозок опасных грузов» (далее – Правила СМГС). Согласно главе 6.20 Правил СМГС должна быть обеспечена минимальная толщина стенки котла, определенная с учетом требований по п.п. 6.20.2.1.15, 6.20.2.1.16, 6.20.2.1.17 Правил СМГС. Давления, на основе которых определяют толщину стенок котла соответствии с п.п. 6.20.2.1.14, 6.20.2.1.15.1, 6.20.2.4.1, 6.20.3.4.2 следующие:

- расчетное давление, которое в 1,3 раза превышает давление наполнения или опорожнения, но не менее 0,4 МПа, согласно п. 6.20.2.1.14 Правил СМГС. Допускаемые напряжения в этом случае, согласно п. 6.20.2.1.16 Правил СМГС составляют 0,5 от предела прочности, т.е. 235 МПа;

- эффективное расчетное давление согласно п. 6.20.2.1.16 Правил СМГС, равное сумме избыточного давления паров груза и давления гидроудара. Давление гидроудара, определяют по формуле, аналогичной формуле (6) – п. 6.20.2.1.15.1 Правил СМГС, равное 0,222 МПа. В этом случае эффективное расчетное давление составляет 0,292 МПа. Допускаемые напряжения в этом случае согласно   
п. 6.20.2.1.16 Правил СМГС должны быть уменьшены в 1,5 раза от предела текучести в соответствии с ГОСТ 14249-89 как для рабочих условий и составлять 216,6 МПа;

- испытательное давление согласно 6.20.2.4.1 Правил СМГС равно 0,4 МПа. Допускаемые напряжения в этом случае, согласно п. 6.20.2.1.16 Правил СМГС составляют 0,5 от предела прочности, т.е. 216,6 МПа;

- эффективное испытательное давление, определяемое по формуле аналогичной формуле (12) – п. 6.20.2.4.1 Правил СМГС. В этом случае давление составляет 0,381 МПа. Допускаемые напряжения в этом случае согласно п. 6.20.2.1.16 Правил СМГС должны быть уменьшены в 1,1 раза от предела текучести в соответствии с ГОСТ 14249-89 как для условий испытаний и составлять   
295,5 МПа.

## Минимальная толщина стенок котла согласно главе 6.20 Правил СМГС должна быть не менее наибольшего из значений, рассчитанных по формулам

, (8)

, (9)

, (10)

, (11)

## где *е* – минимальная толщина стенки котла, мм;

## – испытательное давление, МПа, определенное согласно п.3.20, третье перечисление и равное 0,4 МПа;

*D* – внутренний диаметр котла, *D* = 3,24 м;

## [σ] – допускаемые напряжения, МПа, определенные в п.3.20 для испытательного, расчетного, эффективного испытательного и эффективного расчетного давлений;

## λ – коэффициент, учитывающий возможное уменьшение прочности из-за наличия сварных швов и связанный с методами проверки; согласно п. 6.20.2.1.23 СМГС λ = 1,0;

– расчетное давление, МПа, определенное согласно п.3.20, первое перечисление и равное 0,4 МПа;

## – эффективное испытательное давление, МПа, определенное согласно п.3.20 четвертое перечисление и равное 0,381 МПа;

– эффективное расчетное давление, МПа, определенное согласно   
п.3.20 второе перечисление и равное 0,292 МПа.

## При подстановке данных в формулу (8) получают значение минимальной толщины стенок котла *е*=0,003 м; в формулу (9) – *е*=0,003 м; в формулу (10) – *е*=0,002 м; в формулу (11) – *е*=0,002 м. Таким образом, толщина стенок котла не менее наибольшей из полученных величин. Условие прочности согласно главе 6.20 СМГС выполняется.

3.22 Котел вагона, предназначенного для перевозки жидких грузов согласно п. 4.3.1 б) ГОСТ 33211–2014, проверяют на прочность при действии испытательного давления, определяемого согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правилам промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» (далее – федеральные Правила) по формуле

(12)

где  *p* – расчетное давление, МПа, определяют по формуле

(13)

где *p*пар – см. таблицу 2;

– допускаемые напряжения при температуре 20 °C (325 МПа для   
стали 09Г2С);

– допускаемые напряжения при температуре 50 °C (312 МПа для   
стали 09Г2С).

При подстановке данных в формулу (13) получают =0,292 МПа.

При подстановке данных в формулу (12) получают =0,381 МПа.

## Допускаемые напряжения в этом случае, согласно федеральным Правилам должны быть уменьшены в 1,1 раза от предела текучести, т.е. 295,5 МПа.

## 3.23 Обечайку и днище котла согласно разделу 4 ГОСТ 33211–2014 проверяют на действие избыточного испытательного давления. Давление прикладывают по всей внутренней поверхности котла. Значение определяют согласно п.3.22.

Сочетание нагрузок при гидроиспытаниях представлено в таблице 5.

Таблица 5

| Расчетный случай | Сочетание нагрузок | | Значение |
| --- | --- | --- | --- |
| 15 | 15.1 Вертикальная нагрузка | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 3321–2014) | Пункты  3.12 и 3.13 |
| 15.2 Самоуравновешенная нагрузка | - избыточное испытательное внутреннее давление в котле  (п.4.3.1 ГОСТ 3321–2014) | Пункт 3.22 |

# 4 Расчет на прочность элементов вагона

## 4.1 Расчетные напряжения при нормативных расчетных режимах были получены путем приложения к конечно-элементной модели вагона сочетаний нагрузок, приведенных в таблицах 3-5. Для оценки сложного напряженного состояния конструкции, возникающего при совместном приложении различных нагрузок на различных режимах, рассматривались эквивалентные напряжения по критерию Губера-Мизеса как наиболее точно отражающие нагруженность для сталей, применяемых в вагоностроении.

## В качестве зон измерений значений эквивалентных напряжений в металлоконструкции вагона выбирались места, наиболее нагруженные по рассматриваемым расчетным режимам. Эти зоны расположены в наиболее ответственных элементах, от которых зависит безопасность движения поездов, а также в местах, позволяющих выполнить проверку адекватности расчетной схемы. По информации о максимальных расчетных напряжениях можно судить о напряженном состоянии конструкции вагона. На рисунках 6-18 схематично показано расположение контрольных точек для каждой из рассматриваемых опасных зон. На каждом из рисунков стрелкой показано направление действия силы удара.

|  |  |
| --- | --- |
| D:\Popovich\WORK\Project\Tank\15-9993\15-9993_gost\pic\11.2015\1.PNG | |
| Рисунок 6 – Зона 1. Места расположения контрольных точек 1-4 | |
| |  |  | | --- | --- | |  |  | | Рисунок 7 – Зона 2. Места расположения контрольных точек 5-8 | Рисунок 8 – Зона 3. Места расположения контрольных точек 9-12 | | |
| D:\Popovich\WORK\Project\Tank\15-9993\15-9993_gost\pic\11.2015\4.PNG  Рисунок 9 – Зона 4. Места расположения контрольных точек 13-28 | |
|  | |
| D:\Popovich\WORK\Project\Tank\15-9993\15-9993_gost\pic\11.2015\5.PNG D:\Popovich\WORK\Project\Tank\15-9993\15-9993_gost\pic\11.2015\6.PNG   |  |  | | --- | --- | | Рисунок 10 – Зона 5.  Места расположения контрольных  точек 29-32 | Рисунок 11 – Зона 6.  Места расположения контрольных  точек 33-36 | | |
| Рисунок 12 – Зона 7. Места расположения контрольных точек 37-42 | |
|  | |
|  | |
|  | |
| Рисунок 13 – Зона 8. Места расположения контрольных точек 43-48 | |
| D:\Popovich\WORK\Project\Tank\15-9993\15-9993_gost\pic\11.2015\Zona_7.PNG D:\Popovich\WORK\Project\Tank\15-9993\15-9993_gost\pic\11.2015\Zona_8.PNG | |
| Рисунок 14 – Зона 9. Места расположения контрольных точек 49-52 | Рисунок 15 – Зона 10. Места расположения контрольных точек 53-56 |
|  | |
|  |  |
| D:\Popovich\WORK\Project\Tank\15-9993\15-9993_gost\pic\11.2015\9.PNG | |
| Рисунок 16 – Зона 11. Места расположения контрольных точек 57-64 | |
|  |  |
|  |  |
| Рисунок 17 – Зона 12. Места расположения контрольных точек 65-79 | Рисунок 18 – Зона 13. Места расположения контрольных точек 80-94 |

## 4.3 Оценку соответствия конструкции вагона нормируемым параметрам прочности по рассмотренным расчетным режимам проводят путем сравнения полученных расчетных напряжений с допускаемыми величинами согласно ГОСТ 33211–2014.

## 4.4 Допускаемые величины напряжений для элементов вагона приняты в соответствии с разделом 6 ГОСТ 33211–2014 для материалов, применяемых для изготовления несущих элементов металлоконструкции вагона. Принятые допускаемые напряжения приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Допускаемые напряжения для элементов вагона

| Марка стали | Класс прочности материала | Допускаемые напряжения по режимам, [σ], МПа | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| I | | | Ремонтный | | Гидроиспытания | |
| Растяжение/  сжатие | Удар/рывок | |
| 10Г2БД  ГОСТ 5267.0-90 | 345 | для хребтовой балки | | | | | | |
| 310,50 | 345 | | 310,50 | | 258,75 | |
| 09Г2С  ГОСТ 5520-2017 | 325 | для котла | | | | | | |
| 292,50 | 325 | | 292,50 | | 243,75 | |
| 09Г2С  ГОСТ 19281-2014 | 325 | для шкворневой балки и опор котла | | | | | | |
| 292,50 | 325 | | 292,50 | | 243,75 | |
| для остальных элементов конструкции | | | | | | |
| 308,75 | 325 | | 308,75 | | 243,75 | |
| 295 | составные части ТРП и кронштейнов ее крепления | | | | | | |
| 170 | | | | | | |
| Ст3сп  ГОСТ 14637-89 | 245 | для помостов, лестниц, поручней и подножек составителя | | | | | | |
| 232 | | | | | | |
| Полиэтилен\* | 82 | 77,90 | | 82 | | 77,90 | | 61,50 |
| \* Для полиэтилена указан предел прочности. | | | | | | | | |

## 4.5 В расчете принята наименьшая толщина обечайки и днищ котла, определяемая с учетом минусового допуска на толщину листа (0,8 мм), максимального возможного утонения днищ при изготовлении (8 %) и коррозионного износа оболочки котла за срок службы вагона (см. таблицу 2). Скорость коррозии листов котла вагона принималась равной 0,04 мм/год.

## Напряженно-деформированные состояния рамы и котла вагона от действия наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок (для зон, приведенных на рисунках 6-18), приведенных в таблицах 3-5, представлены на рисунках 19-27 (внешняя металлическая оболочка и теплоизоляция не показаны). Результаты расчета вагона для наиболее нагруженных расчётных режимов приведены в приложении A.

## 4.6 В местах, где наблюдаются сингулярности и резкие скачки жесткостей, т. е. зонах, где максимальные значения полей напряжений являются существенно завышенными, расчетные значения эквивалентных напряжений находят с отступом на два характерных размера квадратичного элемента от точки с максимальным значением.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | |  | | Рисунок 19 – Распределение эквивалентных напряжений при ударе по первому режиму Iа, МПа | |  | | Рисунок 20 – Распределение эквивалентных напряжений при рывке по первому режиму Iб, МПа | |  | | Рисунок 21 – Распределение эквивалентных напряжений при сжатии  по первому режиму Iв, МПа | |  | |  | | Рисунок 22 – Распределение эквивалентных напряжений при растяжении по первому режиму Iг, МПа | |  | | Рисунок 23 – Распределение эквивалентных напряжений  при первом ремонтном режиме, МПа | | Рисунок 24 – Распределение эквивалентных напряжений  при втором ремонтном режиме, МПа | |  | |  | | Рисунок 25 – Распределение эквивалентных напряжений  при третьем ремонтном режиме, МПа | | Рисунок 26 – Распределение эквивалентных напряжений при четвертом ремонтном режиме, МПа | |  | |  | | Рисунок 27 – Распределение эквивалентных напряжений при проверке котла на испытательную нагрузку, МПа | |

# 5 Расчет устойчивости оболочки котла и рамы вагона

## 5.1 Оценку соответствия конструкции оболочки котла и рамы вагона по нормируемым параметрам устойчивости проводят путем сравнения полученных расчетных коэффициентов запаса устойчивости с допускаемыми коэффициентами согласно требованиям раздела 4 ГОСТ 33211-2014.

## 5.2 В качестве кинематических граничных условий в расчетных случаях приняты следующие:

## – в узлах расчетной модели, соответствующих опиранию на пятник, введены закрепления от перемещений в направлении поперечной оси «Y» и вертикальной оси «Z»;

## – в узлах расчетной схемы, соответствующих ударным поверхностям упоров автосцепного устройства, с противоположной стороны действия силы, введены закрепления в направлении горизонтальной оси «X».

## 5.3 Оценку устойчивости оболочки котла вагона проводят согласно разделу 4 ГОСТ 33211-2014 при действии внешнего избыточного давления, *p*внеш=21 кПа.

## 5.4 При расчете на устойчивость учитывают наименьшую возможную толщину оболочки котла, определяемую с учетом минусового допуска на толщину листа (0,8 мм) и коррозионного износа оболочки котла за срок службы вагона (см. таблицу 2). Скорость коррозии листа котлов вагонов-цистерн для сжиженных углеводородных газов принимают равной 0,04 мм/год. Результирующая толщина обечайки котла для расчета на устойчивость составляет 7,92 мм.

## 5.5 В результате расчета получено значение коэффициента запаса устойчивости оболочки котла вагона *К*зу=2,81, что больше минимально допустимого значения согласно разделу 6 ГОСТ 33211-2014, равного 1,5. Вид соответствующей формы потери устойчивости приведен на рисунке 28.

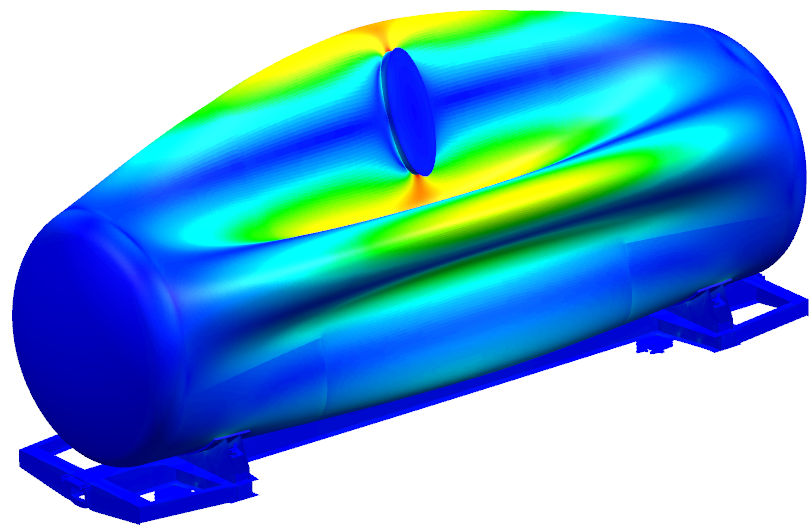


Рисунок 28 – Первая форма потери устойчивости оболочки котла вагона

## 5.6 Оценку устойчивости рамы вагона проводят согласно разделу 6 ГОСТ 33211-2014, сочетание расчетных нагрузок приведено в таблице 7.

Таблица 7

| Расчетный случай | Сочетание нагрузок и схема опирания кузова | | Значение |
| --- | --- | --- | --- |
| 16 | 16.1 Продольная нагрузка | - квазистатическая сила сжатия  (п.4.1.1 ГОСТ 33211-2014) | -2,5 МН |
| 16.2 Вертикальные нагрузки | - собственный вес вагона и нагрузка от действия веса груза  (п.4.1.3 ГОСТ 33211-2014) | Пункты  3.12 и 3.13 |
|  |  |  |  |

## 5.7 В результате расчета получено значение коэффициента запаса устойчивости рамы вагона *Кз*у=2,10. Данное значение более минимально допустимого значения согласно ГОСТ 33211-2014, равного 1,1. Вид соответствующей формы потери устойчивости приведен на рисунке 29.



Рисунок 29 – Первая форма потери устойчивости рамы вагона

# 6 Расчет элементов тормозного оборудования

* 1. Кронштейны крепления тормозной рычажной передачи (ТРП) и тяги, воспринимающие действие сил в тормозной системе, проверялись на прочность при действии максимальной силы на штоке поршня тормозного цилиндра, определяемой без учета жесткости отпускной пружины и без учета потерь по разделу 4 ГОСТ 33211-2014. На рисунке 30 представлена схема ТРП вагона.

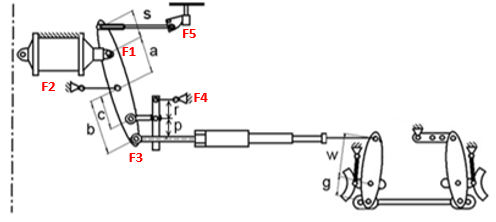


Рисунок 30 – Схема тормозной рычажной передачи

* 1. Усилие на выходе из цилиндра , Н, рассчитывают по формуле

, (14)

где , – см. таблицу 2.

* 1. Усилие в серьге мертвой точки горизонтального рычага , Н, вычисляют по формуле

, (15)

где , – см. таблицу 2.

* 1. Усилие в кронштейне авторегулятора , Н, определяют по формуле

. (16)

* 1. Усилие в серьге мертвой точки авторегулятора , Н, вычисляют по формуле

, (17)

где – см. таблицу 2.

* 1. Усилие в тяге стояночного тормоза, *F5*, Н, вычисляют по формуле

. (18)

где , *k*, , – см. таблицу 2.

При подстановке данных в формулы (14)-(18) получены следующие значения усилий:

* усилие на выходе из цилиндра *F*1=17,2 кН;
* усилие в серьге мертвой точки горизонтального рычага *F2*=32,5 кН;
* усилие в тяге авторегулятора *F*3=15,2 кН;
* усилие в кронштейне мертвой точки рычага авторегулятора *F4*=7,5 кН;
* усилие в тяге стояночного тормоза *F*5=18,9 кН.
  1. На рисунках 31-33 приведены результаты расчета прочности тормозной рычажной передачи.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Максимальные напряжения 77 МПа*  Рисунок 31 – Распределение эквивалентных напряжений в тяге авторегулятора, МПа    *Максимальные напряжения 70 МПа*  Рисунок 32 – Распределение эквивалентных напряжений в  тяге стояночного тормоза, МПа    *Максимальные напряжения 79 МПа*  Рисунок 33 – Распределение эквивалентных напряжений в  горизонтальном рычаге, МПа 7 Расчет предохранительных устройств и элементов крепления подвесного оборудования7.1 Предохранительные устройства, предназначенные для предотвращения падения на путь оборудования вагона, проверяют на прочность согласно  разделу 2 ГОСТ 33274–2015.7.2 Составные части несущей конструкции кузова вагона, на которых закреплено подвесное оборудование, проверялись на прочность при действии: а) продольного ускорения , м/с2, определяемого по формуле  (19)  где *N* – продольная сила, приложенная к вагону, Н;  – минимальная расчетная масса вагона, кг, =25500 кг;  б) вертикального ускорения *αв*, м/с2, определяемого по формуле  (20)  где – см. таблицу 2;  – продольная сила инерции составной части вагона, Н;  – масса кузова вагона с минимальной расчетной массой, кг;  – расстояние в вертикальном направлении от центра масс кузова вагона до уровня оси автосцепки, м;  *2l*– см. таблицу 1;  – расстояние в продольном направлении от среднего поперечного сечения кузова вагона до центра масс подвесного оборудования, м.  Продольная и вертикальная силы от действия ускорений, определяемых по формулам (19) и (20), прикладывались к центрам масс подвесного оборудования; в) усилий от элементов тормозной рычажной передачи, действующих согласно п.6.1. 7.3 На рисунках 34-41 приведены результаты расчета крепления подвесного оборудования.  *Максимальные напряжения 16 МПа*  Рисунок 34 – Распределение эквивалентных напряжений в кронштейне воздухораспределителя, МПа  *Максимальные напряжения 156 МПа*  Рисунок 35 – Распределение эквивалентных напряжений в кронштейне  тормозного цилиндра и горизонтального рычага, МПа  *Максимальные напряжения 135 МПа*  Рисунок 36 – Распределение эквивалентных напряжений в кронштейне  стояночного тормоза и рычаге упора, МПа  *Максимальные напряжения 7 МПа*  Рисунок 37 – Распределение эквивалентных напряжений в кронштейне авторежима, МПа    *Максимальные напряжения 41 МПа*  Рисунок 38 – Распределение эквивалентных напряжений в кронштейне запасного резервуара, МПа   |  |  | | --- | --- | | *Максимальные напряжения 45 МПа* | *Максимальные напряжения 35 МПа* | | Рисунок 39 – Распределение эквивалентных напряжений в предохранительном устройстве №1, МПа | Рисунок 40 – Распределение эквивалентных напряжений в предохранительном устройстве №2, МПа |   *Максимальные напряжения 33 МПа*  Рисунок 41 – Распределение эквивалентных напряжений  на предохранительной скобе магистральной трубы, МПа  7.4 Наибольшие расчетные эквивалентные напряжения в кронштейнах элементов подвесного оборудования возникают в кронштейне тормозного рычага и составляют 156 МПа при допустимых 170 МПа.  7.5 Наибольшие расчетные эквивалентные напряжения в предохранительных устройствах возникают в предохранительном устройстве №1 и составляют 45 МПа при допустимых 170 МПа.  7.6 Для проверки отсутствия резонанса была проведена расчетная оценка собственных частот колебаний кронштейнов тормозной системы в сравнении c частотой колебаний котла и рамы вагона на рессорном подвешивании.  Частота колебаний кузова на рессорах определяется по формуле   |  |  | | --- | --- | | , | (21) |   где ‒ коэффициент, равный 1,4 для кузова вагона;  – расчетный статический прогиб рессорного подвешивания вагона с максимальной расчетной массой, принимался равным 0,05 м;  – наибольший статический прогиб несущей конструкции вагона под действием силы тяжести груза, принимался равным 0,001 м. При подстановке данных в формулу (21) получают *fk* = 3,17 Гц. Полученные в ходе расчета первые собственные частоты колебаний кронштейнов тормозной системы, подножки и поручня составителя составляют:  - 490 Гц – кронштейн тормозного цилиндра;  - 699 Гц – кронштейн горизонтального рычага;  - 150 Гц – кронштейн рычага-упора авторегулятора;  - 154 Гц – кронштейн стояночного тормоза;  - 129 Гц – кронштейн авторежима;  - 114 Гц – кронштейн запасного резервуара;  - 158 Гц – кронштейн воздухораспределителя;  - 67 Гц – предохранительное устройство №1;  - 69 Гц – предохранительное устройство №2.  Полученные собственные частоты колебаний кронштейнов тормозной системы больше собственной частоты котла и рамы вагона, что подтверждает отсутствие резонанса. 8 Расчет прочности помостов, лестниц, подножек и поручней 8.1 В соответствии с разделом 4 ГОСТ 33211-2014 помосты как составная часть вагона, предусматривающая возможность нахождения обслуживающего персонала, проверялись на прочность при действии двух вертикальных сил по  1,0 кН каждая, распределенных на площади 0,25 х 0,25 м2 и приложенных на расстоянии 0,5 м друг от друга в любой части.  8.2 В соответствии с разделом 4 ГОСТ 33211-2014 подножки и лестницы проверялись на прочность при одновременном действии двух вертикальных сил по 1,0 кН каждая, приложенных на расстоянии 0,3 м друг от друга, и продольной силы 1,0 кН, приложенной в плоскости подножки и ступени лестницы в тех же зонах.  8.3 В соответствии с разделом 4 ГОСТ 33211-2014 вертикальные и горизонтальные поручни проверялись на прочность при одновременном действии вертикальной и боковой сил по 1,0 кН каждая, приложенных к середине поручня  8.4 На рисунках 42-44 приведены результаты расчета помостов, лестниц, подножек и поручней.      *Максимальные напряжения 213 МПа*  Рисунок 42 – Распределение эквивалентных напряжений  в помостах и поручнях помостов, МПа    *Максимальные напряжения 175 МПа*  Рисунок 43 – Распределение эквивалентных напряжений в лестнице, МПа  g:\WORK\Отчеты по вагонам\Актуализация_2019\15-6900\Рисунки_6900\Слайд3.PNG  *Максимальные напряжения 148 МПа*  Рисунок 44 – Распределение эквивалентных напряжений в подножке составителя и поручнях, МПа 9 Расчет вагона на прочность при перевозке на пароме 9.1 Расчет вагона на прочность при перевозке на пароме проведен в соответствии с разделом 4 ГОСТ 33211–2014.  9.2 Рассматривались два случая сочетания нагрузок (груженый вагон):  а) действие продольной силы на вагон и груз, соответствующей ускорению 1,96 м/с2, и действие на вагон и груз вертикальной силы, соответствующей ускорению 9,81 м/с2;  б) действие боковой силы на вагон и груз, соответствующей ускорению  9,81 м/с2, и действие на вагон и груз вертикальной силы, соответствующей ускорению 4,91 м/с2.  9.3 Силы уравновешены реакциями в приспособлениях для закрепления вагона и груза.  9.4 На рисунках 45, 46 приведены распределения эквивалентных напряжений в вагоне при действии нагрузок по п. 9.2.  *Максимальные напряжения 217 МПа*  Рисунок 45 – Распределение эквивалентных напряжений при перевозке на пароме  (перечисление а) пункт 9.2), МПа  *Максимальные напряжения 238 МПа*  Рисунок 48 – Распределение эквивалентных напряжений при перевозке на пароме (перечисление б) пункт 9.2), МПа |
|  |

# 

# 10 Заключение

## 10.1 В результате расчета прочности получены распределения эквивалентных напряжений для конструкции вагона.

Максимальные расчетные эквивалентные напряжения во всех элементах конструкции вагона не превышают допускаемых ГОСТ 33211–2014 для всех расчетных режимов.

1. 10.2 Наибольшие напряжения возникают в случае нагружения по I режиму при нагрузках, соответствующих седьмому расчетному случаю (рывок +2,5 МН).
2. Наиболее нагруженными элементами являются обечайка котла в зоне люка-лаза (точка 1: σэкв=129,34 МПа, допускаемые напряжения [*σ*]=292,50 МПа), котел в месте лежневых опор (точка 43: σэкв=223,20 МПа, допускаемые напряжения [σ]=292,50 МПа), место крепления центральных лап к котлу   
   (точка 19: σэкв=283,70 МПа, допускаемые напряжения [σ]=292,50 МПа), хребтовая балка (точка 51: σэкв=270,57 МПа, допускаемые напряжения [σ]=310,5 МПа).
3. 10.3 Наибольшие напряжения при ремонтных режимах возникают в случае подъема груженого вагона с двух сторон на шкворневых балках (девятый расчетный случай). Наиболее нагруженным элементом является котел в месте лежневых опор (точка 43: σэкв=203,64 МПа, допускаемые напряжения [σ]=292,50 МПа).

10.4 Наибольшие напряжения при проверке котла (пятнадцатый расчетный случай) возникают в днище (точка 30: σэкв =240,23 МПа, допускаемые напряжения [σ]=243,75 МПа).

## 10.5 В результате расчета устойчивости оболочки котла и рамы вагона получены значения коэффициентов запаса устойчивости *К*зу=2,81 для оболочки котла и *К*зу=2,10 для рамы вагона. Данные значения выше минимально допускаемых, которые составляют 1,5 для оболочки котла и 1,1 для рамы вагона в соответствии с ГОСТ 33211–2014.

## 10.6 Элементы тормозного оборудования соответствуют требованиям ГОСТ 33211–2014. Максимальные расчетные эквивалентные напряжения возникают в горизонтальном рычаге и составляют 151 МПа при допускаемых [σ] = 195 МПа.

## 10.7 Элементы крепления подвесного оборудования соответствуют требованиям ГОСТ 33211–2014 и ГОСТ 33274-2015. Максимальные расчетные эквивалентные напряжения возникают в кронштейне рычага упора и составляют 175 МПа при допускаемых [σ]=207 МПа.

## 10.8 Предохранительные и поддерживающие устройства соответствуют требованиям ГОСТ 33211–2014 и ГОСТ 33274-2015. Максимальные расчетные эквивалентные напряжения составляют 45 МПа, допускаемые напряжения [σ]=147 МПа.

## 10.13 Лестницы, помосты, поручни и подножки соответствуют требованиям ГОСТ 33211–2014.

## 10.14 Конструкция вагона удовлетворяет требованиям ГОСТ 33211–2014 в части транспортировки на пароме.

## 10.15 Конструкция рамы и котла вагона по нормируемым параметрам прочности и устойчивости соответствует требованиям ГОСТ 33211–2014, ТР ТС 001/2011 и ТР ТС 032/2013.

# 11 Ссылочные документы

1. ТР ТС 001/2011 Технический регламент Таможенного союза   
   “О безопасности железнодорожного состава”
2. ТР ТС 032/2013 Технический регламент Таможенного союза   
   “О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением”
3. ГОСТ 5267.0-90 Профили горячекатаные для вагоностроения. Общие технические условия
4. ГОСТ 5520-2017 Прокат толстолистовой из нелегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением
5. ГОСТ 9238-2022 Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений
6. ГОСТ 9246-2013 Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия
7. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность
8. ГОСТ 14637-89 Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия
9. ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия
10. ГОСТ 33211-2014 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам
11. ГОСТ 33274-2015 Железнодорожный подвижной состав. Устройства, предохраняющие падение деталей на путь. Методы контроля показателей прочности
12. Приложение №2 к СМГС «Правила перевозок опасных грузов»
13. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением», утв. приказом Ростехнадзора   
    от 15.12.2020 №536
14. XXX Вагон-цистерна для перевозки нефтепродуктов. Модель XXX, XXX
15. 4701-09.00.00.000 Тележка двухосная XXX, тип 3 ГОСТ 9246-2013, XXX

# Приложение А

# (обязательное) Результаты расчета прочности

Таблица А.1 – Результаты расчета прочности конструкции вагона

| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| --- | --- | --- | --- |
| Третий расчетный случай (Растяжение +2,0 МН) | | | |
| 1 | 29,31 | 292,5 | 9,98 |
| 2 | 27,10 | 292,5 | 10,79 |
| 3 | 29,29 | 292,5 | 9,99 |
| 4 | 27,26 | 292,5 | 10,73 |
| 5 | 7,34 | 292,5 | 39,86 |
| 6 | 32,96 | 292,5 | 8,87 |
| 7 | 23,88 | 292,5 | 12,25 |
| 8 | 32,81 | 292,5 | 8,92 |
| 9 | 7,28 | 292,5 | 40,18 |
| 10 | 33,11 | 292,5 | 8,84 |
| 11 | 24,63 | 292,5 | 11,87 |
| 12 | 34,88 | 292,5 | 8,39 |
| 13 | 47,27 | 292,5 | 6,19 |
| 14 | 151,84 | 292,5 | 1,93 |
| 15 | 88,57 | 292,5 | 3,30 |
| 16 | 69,22 | 292,5 | 4,23 |
| 17 | 64,17 | 292,5 | 4,56 |
| 18 | 45,11 | 292,5 | 6,48 |
| 19 | 161,53 | 292,5 | 1,81 |
| 20 | 90,72 | 292,5 | 3,22 |
| 21 | 92,43 | 292,5 | 3,16 |
| 22 | 154,78 | 292,5 | 1,89 |
| 23 | 46,90 | 292,5 | 6,24 |
| 24 | 67,93 | 292,5 | 4,31 |
| 25 | 64,43 | 292,5 | 4,54 |
| 26 | 89,25 | 292,5 | 3,28 |
| 27 | 159,83 | 292,5 | 1,83 |
| 28 | 42,11 | 292,5 | 6,95 |
| 29 | 30,57 | 292,5 | 9,57 |
| 30 | 81,80 | 292,5 | 3,58 |
| 31 | 12,64 | 292,5 | 23,14 |
| 32 | 82,04 | 292,5 | 3,57 |
| 33 | 30,02 | 292,5 | 9,74 |
| 34 | 80,55 | 292,5 | 3,63 |
| 35 | 9,65 | 292,5 | 30,31 |
| 36 | 81,59 | 292,5 | 3,58 |
| 37 | 178,33 | 292,5 | 1,64 |
| 38 | 117,88 | 292,5 | 2,48 |
| 39 | 111,83 | 292,5 | 2,62 |
| 40 | 127,48 | 292,5 | 2,29 |
| 41 | 151,28 | 292,5 | 1,93 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 42 | 110,84 | 292,5 | 2,64 |
| 43 | 189,54 | 292,5 | 1,54 |
| 44 | 134,20 | 292,5 | 2,18 |
| 45 | 114,85 | 292,5 | 2,55 |
| 46 | 104,05 | 292,5 | 2,81 |
| 47 | 160,81 | 292,5 | 1,82 |
| 48 | 113,79 | 292,5 | 2,57 |
| 49 | 167,33 | 310,5 | 1,86 |
| 50 | 194,87 | 310,5 | 1,59 |
| 51 | 232,71 | 310,5 | 1,33 |
| 52 | 223,75 | 310,5 | 1,39 |
| 53 | 230,93 | 310,5 | 1,34 |
| 54 | 222,54 | 310,5 | 1,40 |
| 55 | 161,55 | 310,5 | 1,92 |
| 56 | 165,31 | 310,5 | 1,88 |
| 57 | 208,73 | 292,5 | 1,40 |
| 58 | 93,81 | 292,5 | 3,12 |
| 59 | 213,47 | 292,5 | 1,37 |
| 60 | 94,37 | 292,5 | 3,10 |
| 61 | 96,46 | 292,5 | 3,03 |
| 62 | 210,85 | 292,5 | 1,39 |
| 63 | 93,26 | 292,5 | 3,14 |
| 64 | 209,63 | 292,5 | 1,40 |
| 65 | 66,52 | 310,5 | 4,67 |
| 66 | 72,43 | 310,5 | 4,29 |
| 67 | 20,71 | 310,5 | 14,99 |
| 68 | 18,02 | 310,5 | 17,23 |
| 69 | 27,28 | 310,5 | 11,38 |
| 70 | 51,24 | 310,5 | 6,06 |
| 71 | 25,30 | 310,5 | 12,27 |
| 72 | 139,85 | 292,5 | 2,09 |
| 73 | 52,51 | 292,5 | 5,57 |
| 74 | 121,02 | 292,5 | 2,42 |
| 75 | 63,19 | 292,5 | 4,63 |
| 76 | 105,60 | 292,5 | 2,77 |
| 77 | 36,00 | 292,5 | 8,12 |
| 78 | 92,59 | 292,5 | 3,16 |
| 79 | 32,10 | 292,5 | 9,11 |
| 80 | 25,41 | 310,5 | 12,22 |
| 81 | 51,85 | 310,5 | 5,99 |
| 82 | 26,39 | 310,5 | 11,77 |
| 83 | 17,92 | 310,5 | 17,33 |
| 84 | 21,24 | 310,5 | 14,62 |
| 85 | 58,74 | 310,5 | 5,29 |
| 86 | 50,03 | 310,5 | 6,21 |
| 87 | 64,82 | 292,5 | 4,51 |
| 88 | 119,09 | 292,5 | 2,46 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 89 | 54,62 | 292,5 | 5,36 |
| 90 | 116,41 | 292,5 | 2,51 |
| 91 | 37,89 | 292,5 | 7,72 |
| 92 | 97,96 | 292,5 | 2,99 |
| 93 | 30,46 | 292,5 | 9,60 |
| 94 | 95,08 | 292,5 | 3,08 |
| Четвертый расчетный случай (Сжатие -2,5 МН) | | | |
| 1 | 30,90 | 292,5 | 9,47 |
| 2 | 25,76 | 292,5 | 11,36 |
| 3 | 30,86 | 292,5 | 9,48 |
| 4 | 25,89 | 292,5 | 11,30 |
| 5 | 7,35 | 292,5 | 39,82 |
| 6 | 29,88 | 292,5 | 9,79 |
| 7 | 15,39 | 292,5 | 19,00 |
| 8 | 33,02 | 292,5 | 8,86 |
| 9 | 7,29 | 292,5 | 40,13 |
| 10 | 30,02 | 292,5 | 9,74 |
| 11 | 15,20 | 292,5 | 19,24 |
| 12 | 35,28 | 292,5 | 8,29 |
| 13 | 36,49 | 292,5 | 8,02 |
| 14 | 83,59 | 292,5 | 3,50 |
| 15 | 59,68 | 292,5 | 4,90 |
| 16 | 50,72 | 292,5 | 5,77 |
| 17 | 26,47 | 292,5 | 11,05 |
| 18 | 16,80 | 292,5 | 17,41 |
| 19 | 57,15 | 292,5 | 5,12 |
| 20 | 50,31 | 292,5 | 5,81 |
| 21 | 69,78 | 292,5 | 4,19 |
| 22 | 77,49 | 292,5 | 3,77 |
| 23 | 36,00 | 292,5 | 8,12 |
| 24 | 49,32 | 292,5 | 5,93 |
| 25 | 27,09 | 292,5 | 10,80 |
| 26 | 49,38 | 292,5 | 5,92 |
| 27 | 55,44 | 292,5 | 5,28 |
| 28 | 16,85 | 292,5 | 17,36 |
| 29 | 30,98 | 292,5 | 9,44 |
| 30 | 78,41 | 292,5 | 3,73 |
| 31 | 9,08 | 292,5 | 32,22 |
| 32 | 81,45 | 292,5 | 3,59 |
| 33 | 30,42 | 292,5 | 9,61 |
| 34 | 77,48 | 292,5 | 3,78 |
| 35 | 9,43 | 292,5 | 31,02 |
| 36 | 80,77 | 292,5 | 3,62 |
| 37 | 133,28 | 292,5 | 2,19 |
| 38 | 168,95 | 292,5 | 1,73 |
| 39 | 112,59 | 292,5 | 2,60 |
| 40 | 229,17 | 292,5 | 1,28 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 41 | 146,48 | 292,5 | 2,00 |
| 42 | 127,28 | 292,5 | 2,30 |
| 43 | 140,37 | 292,5 | 2,08 |
| 44 | 196,22 | 292,5 | 1,49 |
| 45 | 114,12 | 292,5 | 2,56 |
| 46 | 179,38 | 292,5 | 1,63 |
| 47 | 154,73 | 292,5 | 1,89 |
| 48 | 130,68 | 292,5 | 2,24 |
| 49 | 64,34 | 310,5 | 4,83 |
| 50 | 45,42 | 310,5 | 6,84 |
| 51 | 201,04 | 310,5 | 1,54 |
| 52 | 180,53 | 310,5 | 1,72 |
| 53 | 173,75 | 310,5 | 1,79 |
| 54 | 196,41 | 310,5 | 1,58 |
| 55 | 63,24 | 310,5 | 4,91 |
| 56 | 81,50 | 310,5 | 3,81 |
| 57 | 84,96 | 292,5 | 3,44 |
| 58 | 128,26 | 292,5 | 2,28 |
| 59 | 97,43 | 292,5 | 3,00 |
| 60 | 137,85 | 292,5 | 2,12 |
| 61 | 138,08 | 292,5 | 2,12 |
| 62 | 92,75 | 292,5 | 3,15 |
| 63 | 128,49 | 292,5 | 2,28 |
| 64 | 86,01 | 292,5 | 3,40 |
| 65 | 8,00 | 310,5 | 38,82 |
| 66 | 17,79 | 310,5 | 17,45 |
| 67 | 27,15 | 310,5 | 11,44 |
| 68 | 62,29 | 310,5 | 4,98 |
| 69 | 76,41 | 310,5 | 4,06 |
| 70 | 97,61 | 310,5 | 3,18 |
| 71 | 7,02 | 310,5 | 44,23 |
| 72 | 99,87 | 292,5 | 2,93 |
| 73 | 83,33 | 292,5 | 3,51 |
| 74 | 116,94 | 292,5 | 2,50 |
| 75 | 124,88 | 292,5 | 2,34 |
| 76 | 30,59 | 292,5 | 9,56 |
| 77 | 57,13 | 292,5 | 5,12 |
| 78 | 48,06 | 292,5 | 6,09 |
| 79 | 68,30 | 292,5 | 4,28 |
| 80 | 7,30 | 310,5 | 42,52 |
| 81 | 97,76 | 310,5 | 3,18 |
| 82 | 75,70 | 310,5 | 4,10 |
| 83 | 62,61 | 310,5 | 4,96 |
| 84 | 36,73 | 310,5 | 8,45 |
| 85 | 7,69 | 310,5 | 40,39 |
| 86 | 4,09 | 310,5 | 75,82 |
| 87 | 128,80 | 292,5 | 2,27 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 88 | 113,26 | 292,5 | 2,58 |
| 89 | 84,29 | 292,5 | 3,47 |
| 90 | 87,13 | 292,5 | 3,36 |
| 91 | 72,28 | 292,5 | 4,05 |
| 92 | 43,30 | 292,5 | 6,76 |
| 93 | 52,63 | 292,5 | 5,56 |
| 94 | 28,80 | 292,5 | 10,16 |
| Седьмой расчетный случай (Рывок +2,5 МН) | | | |
| 1 | 129,34 | 292,5 | 2,26 |
| 2 | 65,31 | 292,5 | 4,48 |
| 3 | 129,24 | 292,5 | 2,26 |
| 4 | 64,48 | 292,5 | 4,54 |
| 5 | 8,76 | 292,5 | 33,40 |
| 6 | 22,94 | 292,5 | 12,75 |
| 7 | 9,87 | 292,5 | 29,64 |
| 8 | 22,82 | 292,5 | 12,82 |
| 9 | 39,64 | 292,5 | 7,38 |
| 10 | 77,53 | 292,5 | 3,77 |
| 11 | 33,35 | 292,5 | 8,77 |
| 12 | 82,31 | 292,5 | 3,55 |
| 13 | 48,59 | 292,5 | 6,02 |
| 14 | 263,49 | 292,5 | 1,11 |
| 15 | 135,45 | 292,5 | 2,16 |
| 16 | 68,76 | 292,5 | 4,25 |
| 17 | 67,25 | 292,5 | 4,35 |
| 18 | 52,62 | 292,5 | 5,56 |
| 19 | 283,70 | 292,5 | 1,03 |
| 20 | 143,93 | 292,5 | 2,03 |
| 21 | 51,72 | 292,5 | 5,66 |
| 22 | 36,57 | 292,5 | 8,00 |
| 23 | 151,77 | 292,5 | 1,93 |
| 24 | 113,15 | 292,5 | 2,59 |
| 25 | 103,64 | 292,5 | 2,82 |
| 26 | 45,43 | 292,5 | 6,44 |
| 27 | 36,60 | 292,5 | 7,99 |
| 28 | 139,32 | 292,5 | 2,10 |
| 29 | 34,21 | 292,5 | 8,55 |
| 30 | 66,44 | 292,5 | 4,40 |
| 31 | 17,71 | 292,5 | 16,51 |
| 32 | 66,53 | 292,5 | 4,40 |
| 33 | 148,10 | 292,5 | 1,98 |
| 34 | 225,02 | 292,5 | 1,30 |
| 35 | 74,38 | 292,5 | 3,93 |
| 36 | 226,20 | 292,5 | 1,29 |
| 37 | 130,48 | 292,5 | 2,24 |
| 38 | 98,20 | 292,5 | 2,98 |
| 39 | 102,64 | 292,5 | 2,85 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 40 | 196,85 | 292,5 | 1,49 |
| 41 | 175,62 | 292,5 | 1,67 |
| 42 | 168,67 | 292,5 | 1,73 |
| 43 | 223,20 | 292,5 | 1,31 |
| 44 | 205,53 | 292,5 | 1,42 |
| 45 | 174,63 | 292,5 | 1,68 |
| 46 | 85,34 | 292,5 | 3,43 |
| 47 | 116,19 | 292,5 | 2,52 |
| 48 | 103,64 | 292,5 | 2,82 |
| 49 | 220,82 | 310,5 | 1,41 |
| 50 | 229,81 | 310,5 | 1,35 |
| 51 | 270,57 | 310,5 | 1,15 |
| 52 | 266,31 | 310,5 | 1,17 |
| 53 | 31,96 | 310,5 | 9,71 |
| 54 | 24,68 | 310,5 | 12,58 |
| 55 | 17,57 | 310,5 | 17,68 |
| 56 | 18,78 | 310,5 | 16,53 |
| 57 | 54,50 | 292,5 | 5,37 |
| 58 | 19,08 | 292,5 | 15,33 |
| 59 | 67,27 | 292,5 | 4,35 |
| 60 | 21,19 | 292,5 | 13,80 |
| 61 | 208,97 | 292,5 | 1,40 |
| 62 | 250,69 | 292,5 | 1,17 |
| 63 | 205,15 | 292,5 | 1,43 |
| 64 | 251,67 | 292,5 | 1,16 |
| 65 | 79,81 | 310,5 | 3,89 |
| 66 | 85,66 | 310,5 | 3,62 |
| 67 | 31,45 | 310,5 | 9,87 |
| 68 | 25,83 | 310,5 | 12,02 |
| 69 | 40,41 | 310,5 | 7,68 |
| 70 | 66,85 | 310,5 | 4,64 |
| 71 | 12,64 | 310,5 | 24,57 |
| 72 | 100,69 | 292,5 | 2,91 |
| 73 | 49,23 | 292,5 | 5,94 |
| 74 | 89,46 | 292,5 | 3,27 |
| 75 | 58,48 | 292,5 | 5,00 |
| 76 | 42,91 | 292,5 | 6,82 |
| 77 | 2,22 | 292,5 | 131,60 |
| 78 | 38,60 | 292,5 | 7,58 |
| 79 | 2,34 | 292,5 | 124,78 |
| 80 | 27,25 | 310,5 | 11,39 |
| 81 | 17,73 | 310,5 | 17,51 |
| 82 | 7,86 | 310,5 | 39,50 |
| 83 | 23,74 | 310,5 | 13,08 |
| 84 | 14,80 | 310,5 | 20,99 |
| 85 | 11,54 | 310,5 | 26,92 |
| 86 | 7,96 | 310,5 | 39,00 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 87 | 118,39 | 292,5 | 2,47 |
| 88 | 154,53 | 292,5 | 1,89 |
| 89 | 95,82 | 292,5 | 3,05 |
| 90 | 153,74 | 292,5 | 1,90 |
| 91 | 99,37 | 292,5 | 2,94 |
| 92 | 120,29 | 292,5 | 2,43 |
| 93 | 93,94 | 292,5 | 3,11 |
| 94 | 120,66 | 292,5 | 2,42 |
| Восьмой расчетный случай (Удар -2,5 МН) | | | |
| 1 | 116,62 | 325 | 2,79 |
| 2 | 60,87 | 325 | 5,34 |
| 3 | 116,57 | 325 | 2,79 |
| 4 | 62,08 | 325 | 5,24 |
| 5 | 39,47 | 325 | 8,23 |
| 6 | 74,50 | 325 | 4,36 |
| 7 | 30,70 | 325 | 10,59 |
| 8 | 74,19 | 325 | 4,38 |
| 9 | 8,73 | 325 | 37,25 |
| 10 | 23,81 | 325 | 13,65 |
| 11 | 10,48 | 325 | 31,00 |
| 12 | 25,21 | 325 | 12,89 |
| 13 | 132,35 | 325 | 2,46 |
| 14 | 121,41 | 325 | 2,68 |
| 15 | 29,47 | 325 | 11,03 |
| 16 | 90,36 | 325 | 3,60 |
| 17 | 86,26 | 325 | 3,77 |
| 18 | 135,51 | 325 | 2,40 |
| 19 | 132,07 | 325 | 2,46 |
| 20 | 33,17 | 325 | 9,80 |
| 21 | 79,37 | 325 | 4,09 |
| 22 | 121,31 | 325 | 2,68 |
| 23 | 78,75 | 325 | 4,13 |
| 24 | 54,29 | 325 | 5,99 |
| 25 | 57,60 | 325 | 5,64 |
| 26 | 86,34 | 325 | 3,76 |
| 27 | 126,18 | 325 | 2,58 |
| 28 | 71,70 | 325 | 4,53 |
| 29 | 149,25 | 325 | 2,18 |
| 30 | 225,06 | 325 | 1,44 |
| 31 | 73,89 | 325 | 4,40 |
| 32 | 225,09 | 325 | 1,44 |
| 33 | 33,84 | 325 | 9,61 |
| 34 | 64,70 | 325 | 5,02 |
| 35 | 27,91 | 325 | 11,64 |
| 36 | 64,56 | 325 | 5,03 |
| 37 | 197,47 | 325 | 1,65 |
| 38 | 210,07 | 325 | 1,55 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 39 | 172,93 | 325 | 1,88 |
| 40 | 169,52 | 325 | 1,92 |
| 41 | 80,92 | 325 | 4,02 |
| 42 | 110,39 | 325 | 2,94 |
| 43 | 102,27 | 325 | 3,18 |
| 44 | 184,58 | 325 | 1,76 |
| 45 | 111,66 | 325 | 2,91 |
| 46 | 177,11 | 325 | 1,84 |
| 47 | 176,57 | 325 | 1,84 |
| 48 | 178,24 | 325 | 1,82 |
| 49 | 53,64 | 345 | 6,43 |
| 50 | 45,06 | 345 | 7,66 |
| 51 | 177,85 | 345 | 1,94 |
| 52 | 174,03 | 345 | 1,98 |
| 53 | 35,67 | 345 | 9,67 |
| 54 | 34,63 | 345 | 9,96 |
| 55 | 4,58 | 345 | 75,40 |
| 56 | 4,79 | 345 | 71,97 |
| 57 | 202,65 | 325 | 1,60 |
| 58 | 212,66 | 325 | 1,53 |
| 59 | 206,36 | 325 | 1,57 |
| 60 | 214,79 | 325 | 1,51 |
| 61 | 8,25 | 325 | 39,39 |
| 62 | 19,09 | 325 | 17,02 |
| 63 | 7,22 | 325 | 44,99 |
| 64 | 18,38 | 325 | 17,69 |
| 65 | 8,35 | 345 | 41,33 |
| 66 | 18,23 | 345 | 18,93 |
| 67 | 32,16 | 345 | 10,73 |
| 68 | 66,77 | 345 | 5,17 |
| 69 | 74,25 | 345 | 4,65 |
| 70 | 88,59 | 345 | 3,89 |
| 71 | 12,33 | 345 | 27,99 |
| 72 | 175,35 | 325 | 1,85 |
| 73 | 112,87 | 325 | 2,88 |
| 74 | 155,14 | 325 | 2,09 |
| 75 | 133,27 | 325 | 2,44 |
| 76 | 98,95 | 325 | 3,28 |
| 77 | 109,68 | 325 | 2,96 |
| 78 | 98,38 | 325 | 3,30 |
| 79 | 103,75 | 325 | 3,13 |
| 80 | 16,44 | 345 | 20,99 |
| 81 | 2,80 | 345 | 123,14 |
| 82 | 5,35 | 345 | 64,43 |
| 83 | 6,90 | 345 | 50,01 |
| 84 | 2,52 | 345 | 137,11 |
| 85 | 0,67 | 345 | 511,37 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 86 | 0,55 | 345 | 629,51 |
| 87 | 99,05 | 325 | 3,28 |
| 88 | 62,75 | 325 | 5,18 |
| 89 | 80,03 | 325 | 4,06 |
| 90 | 61,23 | 325 | 5,31 |
| 91 | 17,08 | 325 | 19,03 |
| 92 | 3,55 | 325 | 91,45 |
| 93 | 14,42 | 325 | 22,55 |
| 94 | 4,49 | 325 | 72,35 |
| Девятый расчетный случай (Ремонтный режим 1) | | | |
| 1 | 24,94 | 292,5 | 11,73 |
| 2 | 25,11 | 292,5 | 11,65 |
| 3 | 24,93 | 292,5 | 11,73 |
| 4 | 25,21 | 292,5 | 11,60 |
| 5 | 6,00 | 292,5 | 48,74 |
| 6 | 22,99 | 292,5 | 12,72 |
| 7 | 20,98 | 292,5 | 13,94 |
| 8 | 22,83 | 292,5 | 12,81 |
| 9 | 6,11 | 292,5 | 47,86 |
| 10 | 22,83 | 292,5 | 12,81 |
| 11 | 21,43 | 292,5 | 13,65 |
| 12 | 23,84 | 292,5 | 12,27 |
| 13 | 14,98 | 292,5 | 19,53 |
| 14 | 38,58 | 292,5 | 7,58 |
| 15 | 22,22 | 292,5 | 13,16 |
| 16 | 33,80 | 292,5 | 8,65 |
| 17 | 33,79 | 292,5 | 8,66 |
| 18 | 15,22 | 292,5 | 19,22 |
| 19 | 39,56 | 292,5 | 7,39 |
| 20 | 23,10 | 292,5 | 12,66 |
| 21 | 21,49 | 292,5 | 13,61 |
| 22 | 40,84 | 292,5 | 7,16 |
| 23 | 14,26 | 292,5 | 20,52 |
| 24 | 33,72 | 292,5 | 8,67 |
| 25 | 33,16 | 292,5 | 8,82 |
| 26 | 22,64 | 292,5 | 12,92 |
| 27 | 40,23 | 292,5 | 7,27 |
| 28 | 13,72 | 292,5 | 21,32 |
| 29 | 9,49 | 292,5 | 30,82 |
| 30 | 39,85 | 292,5 | 7,34 |
| 31 | 27,71 | 292,5 | 10,56 |
| 32 | 40,04 | 292,5 | 7,31 |
| 33 | 10,03 | 292,5 | 29,16 |
| 34 | 38,96 | 292,5 | 7,51 |
| 35 | 27,80 | 292,5 | 10,52 |
| 36 | 39,54 | 292,5 | 7,40 |
| 37 | 193,28 | 292,5 | 1,51 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 38 | 176,61 | 292,5 | 1,66 |
| 39 | 107,39 | 292,5 | 2,72 |
| 40 | 190,75 | 292,5 | 1,53 |
| 41 | 164,61 | 292,5 | 1,78 |
| 42 | 106,66 | 292,5 | 2,74 |
| 43 | 203,64 | 292,5 | 1,44 |
| 44 | 202,24 | 292,5 | 1,45 |
| 45 | 108,96 | 292,5 | 2,68 |
| 46 | 152,34 | 292,5 | 1,92 |
| 47 | 174,37 | 292,5 | 1,68 |
| 48 | 108,64 | 292,5 | 2,69 |
| 49 | 6,25 | 310,5 | 49,69 |
| 50 | 6,35 | 310,5 | 48,88 |
| 51 | 11,50 | 310,5 | 27,01 |
| 52 | 10,87 | 310,5 | 28,57 |
| 53 | 11,61 | 310,5 | 26,75 |
| 54 | 10,75 | 310,5 | 28,88 |
| 55 | 6,24 | 310,5 | 49,73 |
| 56 | 5,88 | 310,5 | 52,85 |
| 57 | 117,31 | 292,5 | 2,49 |
| 58 | 112,16 | 292,5 | 2,61 |
| 59 | 131,38 | 292,5 | 2,23 |
| 60 | 113,88 | 292,5 | 2,57 |
| 61 | 113,77 | 292,5 | 2,57 |
| 62 | 117,36 | 292,5 | 2,49 |
| 63 | 111,67 | 292,5 | 2,62 |
| 64 | 119,87 | 292,5 | 2,44 |
| 65 | 2,68 | 310,5 | 115,77 |
| 66 | 3,74 | 310,5 | 83,01 |
| 67 | 1,89 | 310,5 | 164,58 |
| 68 | 7,89 | 310,5 | 39,35 |
| 69 | 3,96 | 310,5 | 78,42 |
| 70 | 7,33 | 310,5 | 42,36 |
| 71 | 7,17 | 310,5 | 43,33 |
| 72 | 142,91 | 292,5 | 2,05 |
| 73 | 81,36 | 292,5 | 3,60 |
| 74 | 126,52 | 292,5 | 2,31 |
| 75 | 95,57 | 292,5 | 3,06 |
| 76 | 39,37 | 292,5 | 7,43 |
| 77 | 32,76 | 292,5 | 8,93 |
| 78 | 31,15 | 292,5 | 9,39 |
| 79 | 29,98 | 292,5 | 9,76 |
| 80 | 6,92 | 310,5 | 44,84 |
| 81 | 7,24 | 310,5 | 42,89 |
| 82 | 3,81 | 310,5 | 81,49 |
| 83 | 7,14 | 310,5 | 43,46 |
| 84 | 1,12 | 310,5 | 276,83 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 85 | 3,75 | 310,5 | 82,69 |
| 86 | 2,59 | 310,5 | 119,73 |
| 87 | 100,83 | 292,5 | 2,90 |
| 88 | 122,61 | 292,5 | 2,39 |
| 89 | 81,67 | 292,5 | 3,58 |
| 90 | 121,54 | 292,5 | 2,41 |
| 91 | 24,35 | 292,5 | 12,01 |
| 92 | 35,40 | 292,5 | 8,26 |
| 93 | 23,50 | 292,5 | 12,45 |
| 94 | 35,09 | 292,5 | 8,34 |
| Десятый расчетный случай (Ремонтный режим 2) | | | |
| 1 | 24,45 | 292,5 | 11,96 |
| 2 | 24,85 | 292,5 | 11,77 |
| 3 | 24,44 | 292,5 | 11,97 |
| 4 | 24,88 | 292,5 | 11,76 |
| 5 | 5,95 | 292,5 | 49,20 |
| 6 | 23,06 | 292,5 | 12,69 |
| 7 | 20,75 | 292,5 | 14,10 |
| 8 | 22,91 | 292,5 | 12,77 |
| 9 | 6,14 | 292,5 | 47,62 |
| 10 | 22,56 | 292,5 | 12,97 |
| 11 | 25,47 | 292,5 | 11,48 |
| 12 | 23,60 | 292,5 | 12,39 |
| 13 | 14,25 | 292,5 | 20,53 |
| 14 | 37,05 | 292,5 | 7,90 |
| 15 | 21,76 | 292,5 | 13,44 |
| 16 | 33,24 | 292,5 | 8,80 |
| 17 | 33,23 | 292,5 | 8,80 |
| 18 | 14,41 | 292,5 | 20,30 |
| 19 | 38,07 | 292,5 | 7,68 |
| 20 | 22,90 | 292,5 | 12,78 |
| 21 | 21,50 | 292,5 | 13,60 |
| 22 | 39,87 | 292,5 | 7,34 |
| 23 | 13,15 | 292,5 | 22,24 |
| 24 | 31,40 | 292,5 | 9,32 |
| 25 | 30,32 | 292,5 | 9,65 |
| 26 | 22,48 | 292,5 | 13,01 |
| 27 | 39,71 | 292,5 | 7,37 |
| 28 | 12,46 | 292,5 | 23,48 |
| 29 | 9,47 | 292,5 | 30,88 |
| 30 | 39,92 | 292,5 | 7,33 |
| 31 | 27,44 | 292,5 | 10,66 |
| 32 | 40,11 | 292,5 | 7,29 |
| 33 | 10,17 | 292,5 | 28,75 |
| 34 | 39,40 | 292,5 | 7,42 |
| 35 | 33,45 | 292,5 | 8,74 |
| 36 | 40,16 | 292,5 | 7,28 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 37 | 194,38 | 292,5 | 1,50 |
| 38 | 178,02 | 292,5 | 1,64 |
| 39 | 107,79 | 292,5 | 2,71 |
| 40 | 174,93 | 292,5 | 1,67 |
| 41 | 142,90 | 292,5 | 2,05 |
| 42 | 103,27 | 292,5 | 2,83 |
| 43 | 176,97 | 292,5 | 1,65 |
| 44 | 184,48 | 292,5 | 1,59 |
| 45 | 105,90 | 292,5 | 2,76 |
| 46 | 153,68 | 292,5 | 1,90 |
| 47 | 175,50 | 292,5 | 1,67 |
| 48 | 109,03 | 292,5 | 2,68 |
| 49 | 6,25 | 310,5 | 49,65 |
| 50 | 6,35 | 310,5 | 48,87 |
| 51 | 12,29 | 310,5 | 25,27 |
| 52 | 11,80 | 310,5 | 26,31 |
| 53 | 18,00 | 310,5 | 17,25 |
| 54 | 21,14 | 310,5 | 14,69 |
| 55 | 7,14 | 310,5 | 43,49 |
| 56 | 7,47 | 310,5 | 41,54 |
| 57 | 117,16 | 292,5 | 2,50 |
| 58 | 112,07 | 292,5 | 2,61 |
| 59 | 131,18 | 292,5 | 2,23 |
| 60 | 113,75 | 292,5 | 2,57 |
| 61 | 123,95 | 292,5 | 2,36 |
| 62 | 148,77 | 292,5 | 1,97 |
| 63 | 121,53 | 292,5 | 2,41 |
| 64 | 150,30 | 292,5 | 1,95 |
| 65 | 2,78 | 310,5 | 111,62 |
| 66 | 3,81 | 310,5 | 81,57 |
| 67 | 1,89 | 310,5 | 164,64 |
| 68 | 7,80 | 310,5 | 39,78 |
| 69 | 4,18 | 310,5 | 74,25 |
| 70 | 7,72 | 310,5 | 40,22 |
| 71 | 7,19 | 310,5 | 43,18 |
| 72 | 143,88 | 292,5 | 2,03 |
| 73 | 82,00 | 292,5 | 3,57 |
| 74 | 127,55 | 292,5 | 2,29 |
| 75 | 96,43 | 292,5 | 3,03 |
| 76 | 39,36 | 292,5 | 7,43 |
| 77 | 32,66 | 292,5 | 8,95 |
| 78 | 31,13 | 292,5 | 9,40 |
| 79 | 29,90 | 292,5 | 9,78 |
| 80 | 7,74 | 310,5 | 40,13 |
| 81 | 6,32 | 310,5 | 49,13 |
| 82 | 12,75 | 310,5 | 24,36 |
| 83 | 18,19 | 310,5 | 17,07 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 84 | 11,29 | 310,5 | 27,50 |
| 85 | 3,39 | 310,5 | 91,65 |
| 86 | 1,76 | 310,5 | 176,22 |
| 87 | 93,44 | 292,5 | 3,13 |
| 88 | 104,62 | 292,5 | 2,80 |
| 89 | 75,86 | 292,5 | 3,86 |
| 90 | 103,62 | 292,5 | 2,82 |
| 91 | 50,68 | 292,5 | 5,77 |
| 92 | 62,62 | 292,5 | 4,67 |
| 93 | 47,26 | 292,5 | 6,19 |
| 94 | 64,20 | 292,5 | 4,56 |
| Одиннадцатый расчетный случай (Ремонтный режим 3) | | | |
| 1 | 24,23 | 292,5 | 12,07 |
| 2 | 24,69 | 292,5 | 11,85 |
| 3 | 24,21 | 292,5 | 12,08 |
| 4 | 24,75 | 292,5 | 11,82 |
| 5 | 5,96 | 292,5 | 49,11 |
| 6 | 22,98 | 292,5 | 12,73 |
| 7 | 22,18 | 292,5 | 13,19 |
| 8 | 22,76 | 292,5 | 12,85 |
| 9 | 6,12 | 292,5 | 47,81 |
| 10 | 22,56 | 292,5 | 12,96 |
| 11 | 25,28 | 292,5 | 11,57 |
| 12 | 23,61 | 292,5 | 12,39 |
| 13 | 12,06 | 292,5 | 24,25 |
| 14 | 34,01 | 292,5 | 8,60 |
| 15 | 20,51 | 292,5 | 14,26 |
| 16 | 31,21 | 292,5 | 9,37 |
| 17 | 31,79 | 292,5 | 9,20 |
| 18 | 13,30 | 292,5 | 21,99 |
| 19 | 36,45 | 292,5 | 8,03 |
| 20 | 22,42 | 292,5 | 13,05 |
| 21 | 21,49 | 292,5 | 13,61 |
| 22 | 39,80 | 292,5 | 7,35 |
| 23 | 12,80 | 292,5 | 22,85 |
| 24 | 31,09 | 292,5 | 9,41 |
| 25 | 29,94 | 292,5 | 9,77 |
| 26 | 22,38 | 292,5 | 13,07 |
| 27 | 38,75 | 292,5 | 7,55 |
| 28 | 11,72 | 292,5 | 24,97 |
| 29 | 9,52 | 292,5 | 30,72 |
| 30 | 40,10 | 292,5 | 7,29 |
| 31 | 29,44 | 292,5 | 9,94 |
| 32 | 40,34 | 292,5 | 7,25 |
| 33 | 10,16 | 292,5 | 28,79 |
| 34 | 39,41 | 292,5 | 7,42 |
| 35 | 33,22 | 292,5 | 8,81 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 36 | 40,16 | 292,5 | 7,28 |
| 37 | 186,27 | 292,5 | 1,57 |
| 38 | 173,42 | 292,5 | 1,69 |
| 39 | 106,72 | 292,5 | 2,74 |
| 40 | 175,41 | 292,5 | 1,67 |
| 41 | 142,92 | 292,5 | 2,05 |
| 42 | 103,32 | 292,5 | 2,83 |
| 43 | 177,35 | 292,5 | 1,65 |
| 44 | 185,46 | 292,5 | 1,58 |
| 45 | 105,84 | 292,5 | 2,76 |
| 46 | 148,92 | 292,5 | 1,96 |
| 47 | 161,39 | 292,5 | 1,81 |
| 48 | 107,99 | 292,5 | 2,71 |
| 49 | 5,19 | 310,5 | 59,80 |
| 50 | 3,84 | 310,5 | 80,80 |
| 51 | 7,17 | 310,5 | 43,33 |
| 52 | 10,40 | 310,5 | 29,85 |
| 53 | 20,11 | 310,5 | 15,44 |
| 54 | 22,72 | 310,5 | 13,67 |
| 55 | 7,23 | 310,5 | 42,95 |
| 56 | 7,53 | 310,5 | 41,26 |
| 57 | 121,03 | 292,5 | 2,42 |
| 58 | 112,59 | 292,5 | 2,60 |
| 59 | 138,53 | 292,5 | 2,11 |
| 60 | 122,48 | 292,5 | 2,39 |
| 61 | 122,85 | 292,5 | 2,38 |
| 62 | 148,44 | 292,5 | 1,97 |
| 63 | 120,62 | 292,5 | 2,42 |
| 64 | 150,12 | 292,5 | 1,95 |
| 65 | 1,19 | 310,5 | 260,75 |
| 66 | 0,99 | 310,5 | 312,88 |
| 67 | 4,85 | 310,5 | 64,08 |
| 68 | 8,07 | 310,5 | 38,47 |
| 69 | 6,12 | 310,5 | 50,70 |
| 70 | 4,69 | 310,5 | 66,26 |
| 71 | 6,96 | 310,5 | 44,63 |
| 72 | 137,89 | 292,5 | 2,12 |
| 73 | 79,87 | 292,5 | 3,66 |
| 74 | 114,29 | 292,5 | 2,56 |
| 75 | 95,73 | 292,5 | 3,06 |
| 76 | 39,71 | 292,5 | 7,37 |
| 77 | 33,29 | 292,5 | 8,79 |
| 78 | 52,90 | 292,5 | 5,53 |
| 79 | 45,99 | 292,5 | 6,36 |
| 80 | 7,63 | 310,5 | 40,68 |
| 81 | 7,02 | 310,5 | 44,22 |
| 82 | 13,11 | 310,5 | 23,69 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 83 | 18,44 | 310,5 | 16,84 |
| 84 | 11,46 | 310,5 | 27,09 |
| 85 | 3,39 | 310,5 | 91,63 |
| 86 | 1,79 | 310,5 | 173,72 |
| 87 | 93,74 | 292,5 | 3,12 |
| 88 | 104,75 | 292,5 | 2,79 |
| 89 | 76,25 | 292,5 | 3,84 |
| 90 | 103,93 | 292,5 | 2,81 |
| 91 | 50,13 | 292,5 | 5,84 |
| 92 | 62,49 | 292,5 | 4,68 |
| 93 | 47,30 | 292,5 | 6,18 |
| 94 | 64,29 | 292,5 | 4,55 |
| Двенадцатый расчетный случай (Ремонтный режим 4) | | | |
| 1 | 4,12 | 292,5 | 70,99 |
| 2 | 0,88 | 292,5 | 331,45 |
| 3 | 4,11 | 292,5 | 71,19 |
| 4 | 0,91 | 292,5 | 322,88 |
| 5 | 0,97 | 292,5 | 300,48 |
| 6 | 5,88 | 292,5 | 49,77 |
| 7 | 10,79 | 292,5 | 27,11 |
| 8 | 8,98 | 292,5 | 32,56 |
| 9 | 0,97 | 292,5 | 300,00 |
| 10 | 5,72 | 292,5 | 51,12 |
| 11 | 10,95 | 292,5 | 26,71 |
| 12 | 9,22 | 292,5 | 31,71 |
| 13 | 24,42 | 292,5 | 11,98 |
| 14 | 3,86 | 292,5 | 75,88 |
| 15 | 7,11 | 292,5 | 41,14 |
| 16 | 34,42 | 292,5 | 8,50 |
| 17 | 12,72 | 292,5 | 22,99 |
| 18 | 17,98 | 292,5 | 16,27 |
| 19 | 35,00 | 292,5 | 8,36 |
| 20 | 14,76 | 292,5 | 19,81 |
| 21 | 6,07 | 292,5 | 48,21 |
| 22 | 4,52 | 292,5 | 64,75 |
| 23 | 24,92 | 292,5 | 11,74 |
| 24 | 33,72 | 292,5 | 8,67 |
| 25 | 12,82 | 292,5 | 22,82 |
| 26 | 14,02 | 292,5 | 20,87 |
| 27 | 33,79 | 292,5 | 8,66 |
| 28 | 17,05 | 292,5 | 17,15 |
| 29 | 2,02 | 292,5 | 144,76 |
| 30 | 7,64 | 292,5 | 38,28 |
| 31 | 12,76 | 292,5 | 22,92 |
| 32 | 10,19 | 292,5 | 28,71 |
| 33 | 2,02 | 292,5 | 144,66 |
| 34 | 7,32 | 292,5 | 39,94 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 35 | 12,68 | 292,5 | 23,08 |
| 36 | 10,32 | 292,5 | 28,35 |
| 37 | 76,04 | 292,5 | 3,85 |
| 38 | 78,96 | 292,5 | 3,70 |
| 39 | 64,13 | 292,5 | 4,56 |
| 40 | 135,64 | 292,5 | 2,16 |
| 41 | 106,13 | 292,5 | 2,76 |
| 42 | 79,09 | 292,5 | 3,70 |
| 43 | 80,83 | 292,5 | 3,62 |
| 44 | 90,09 | 292,5 | 3,25 |
| 45 | 64,49 | 292,5 | 4,54 |
| 46 | 108,15 | 292,5 | 2,70 |
| 47 | 112,52 | 292,5 | 2,60 |
| 48 | 79,92 | 292,5 | 3,66 |
| 49 | 2,32 | 310,5 | 134,09 |
| 50 | 2,69 | 310,5 | 115,54 |
| 51 | 9,00 | 310,5 | 34,51 |
| 52 | 17,76 | 310,5 | 17,49 |
| 53 | 19,20 | 310,5 | 16,17 |
| 54 | 10,34 | 310,5 | 30,04 |
| 55 | 2,66 | 310,5 | 116,80 |
| 56 | 2,16 | 310,5 | 143,90 |
| 57 | 38,34 | 292,5 | 7,63 |
| 58 | 56,21 | 292,5 | 5,20 |
| 59 | 51,21 | 292,5 | 5,71 |
| 60 | 59,93 | 292,5 | 4,88 |
| 61 | 60,80 | 292,5 | 4,81 |
| 62 | 41,92 | 292,5 | 6,98 |
| 63 | 56,53 | 292,5 | 5,17 |
| 64 | 41,89 | 292,5 | 6,98 |
| 65 | 0,58 | 310,5 | 534,67 |
| 66 | 0,36 | 310,5 | 857,53 |
| 67 | 2,02 | 310,5 | 153,55 |
| 68 | 4,25 | 310,5 | 73,00 |
| 69 | 3,03 | 310,5 | 102,49 |
| 70 | 4,17 | 310,5 | 74,51 |
| 71 | 6,56 | 310,5 | 47,37 |
| 72 | 44,91 | 292,5 | 6,51 |
| 73 | 31,18 | 292,5 | 9,38 |
| 74 | 75,22 | 292,5 | 3,89 |
| 75 | 63,83 | 292,5 | 4,58 |
| 76 | 11,66 | 292,5 | 25,08 |
| 77 | 21,48 | 292,5 | 13,61 |
| 78 | 13,44 | 292,5 | 21,77 |
| 79 | 20,32 | 292,5 | 14,40 |
| 80 | 6,57 | 310,5 | 47,25 |
| 81 | 4,00 | 310,5 | 77,59 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 82 | 3,23 | 310,5 | 96,06 |
| 83 | 4,13 | 310,5 | 75,09 |
| 84 | 1,82 | 310,5 | 170,36 |
| 85 | 0,37 | 310,5 | 840,91 |
| 86 | 0,63 | 310,5 | 493,68 |
| 87 | 67,85 | 292,5 | 4,31 |
| 88 | 73,66 | 292,5 | 3,97 |
| 89 | 32,09 | 292,5 | 9,11 |
| 90 | 39,02 | 292,5 | 7,50 |
| 91 | 18,00 | 292,5 | 16,25 |
| 92 | 13,30 | 292,5 | 21,98 |
| 93 | 16,10 | 292,5 | 18,17 |
| 94 | 11,21 | 292,5 | 26,08 |
| Пятнадцатый расчетный случай (Режим гидроиспытаний котла) | | | |
| 1 | 84,52 | 243,75 | 2,88 |
| 2 | 118,10 | 243,75 | 2,06 |
| 3 | 84,54 | 243,75 | 2,88 |
| 4 | 118,29 | 243,75 | 2,06 |
| 5 | 61,75 | 243,75 | 3,95 |
| 6 | 68,26 | 243,75 | 3,57 |
| 7 | 58,61 | 243,75 | 4,16 |
| 8 | 68,44 | 243,75 | 3,56 |
| 9 | 62,20 | 243,75 | 3,92 |
| 10 | 70,71 | 243,75 | 3,45 |
| 11 | 60,08 | 243,75 | 4,06 |
| 12 | 75,26 | 243,75 | 3,24 |
| 13 | 85,90 | 243,75 | 2,84 |
| 14 | 85,41 | 243,75 | 2,85 |
| 15 | 81,55 | 243,75 | 2,99 |
| 16 | 107,82 | 243,75 | 2,26 |
| 17 | 104,64 | 243,75 | 2,33 |
| 18 | 87,68 | 243,75 | 2,78 |
| 19 | 87,83 | 243,75 | 2,78 |
| 20 | 81,52 | 243,75 | 2,99 |
| 21 | 79,72 | 243,75 | 3,06 |
| 22 | 87,23 | 243,75 | 2,79 |
| 23 | 86,27 | 243,75 | 2,83 |
| 24 | 107,20 | 243,75 | 2,27 |
| 25 | 104,89 | 243,75 | 2,32 |
| 26 | 80,87 | 243,75 | 3,01 |
| 27 | 87,14 | 243,75 | 2,80 |
| 28 | 85,85 | 243,75 | 2,84 |
| 29 | 227,41 | 243,75 | 1,07 |
| 30 | 240,23 | 243,75 | 1,01 |
| 31 | 162,31 | 243,75 | 1,50 |
| 32 | 240,01 | 243,75 | 1,02 |
| 33 | 227,44 | 243,75 | 1,07 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 34 | 239,41 | 243,75 | 1,02 |
| 35 | 175,88 | 243,75 | 1,39 |
| 36 | 240,06 | 243,75 | 1,02 |
| 37 | 75,40 | 243,75 | 3,23 |
| 38 | 89,36 | 243,75 | 2,73 |
| 39 | 148,70 | 243,75 | 1,64 |
| 40 | 101,07 | 243,75 | 2,41 |
| 41 | 58,39 | 243,75 | 4,17 |
| 42 | 147,76 | 243,75 | 1,65 |
| 43 | 82,66 | 243,75 | 2,95 |
| 44 | 109,53 | 243,75 | 2,23 |
| 45 | 150,45 | 243,75 | 1,62 |
| 46 | 70,73 | 243,75 | 3,45 |
| 47 | 64,72 | 243,75 | 3,77 |
| 48 | 150,29 | 243,75 | 1,62 |
| 49 | 0,49 | 258,75 | 529,89 |
| 50 | 0,56 | 258,75 | 465,59 |
| 51 | 1,68 | 258,75 | 153,78 |
| 52 | 1,24 | 258,75 | 208,44 |
| 53 | 1,10 | 258,75 | 235,98 |
| 54 | 1,38 | 258,75 | 187,55 |
| 55 | 0,49 | 258,75 | 528,49 |
| 56 | 0,59 | 258,75 | 440,34 |
| 57 | 5,89 | 243,75 | 41,39 |
| 58 | 22,11 | 243,75 | 11,02 |
| 59 | 9,65 | 243,75 | 25,26 |
| 60 | 24,01 | 243,75 | 10,15 |
| 61 | 25,00 | 243,75 | 9,75 |
| 62 | 5,89 | 243,75 | 41,35 |
| 63 | 22,76 | 243,75 | 10,71 |
| 64 | 3,43 | 243,75 | 71,04 |
| 65 | 0,56 | 258,75 | 463,72 |
| 66 | 0,82 | 258,75 | 314,95 |
| 67 | 3,05 | 258,75 | 84,86 |
| 68 | 6,06 | 258,75 | 42,70 |
| 69 | 3,72 | 258,75 | 69,57 |
| 70 | 2,33 | 258,75 | 111,23 |
| 71 | 3,80 | 258,75 | 68,09 |
| 72 | 84,43 | 243,75 | 2,89 |
| 73 | 63,31 | 243,75 | 3,85 |
| 74 | 76,13 | 243,75 | 3,20 |
| 75 | 74,82 | 243,75 | 3,26 |
| 76 | 19,87 | 243,75 | 12,27 |
| 77 | 32,23 | 243,75 | 7,56 |
| 78 | 17,82 | 243,75 | 13,68 |
| 79 | 30,43 | 243,75 | 8,01 |
| 80 | 3,82 | 258,75 | 67,73 |

Продолжение таблицы А.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № точки | σэкв, МПа | [σ], МПа | *k*зап |
| 81 | 2,40 | 258,75 | 107,86 |
| 82 | 4,09 | 258,75 | 63,31 |
| 83 | 5,88 | 258,75 | 44,03 |
| 84 | 2,62 | 258,75 | 98,67 |
| 85 | 0,81 | 258,75 | 320,33 |
| 86 | 0,50 | 258,75 | 514,66 |
| 87 | 79,84 | 243,75 | 3,05 |
| 88 | 74,14 | 243,75 | 3,29 |
| 89 | 64,51 | 243,75 | 3,78 |
| 90 | 73,92 | 243,75 | 3,30 |
| 91 | 28,75 | 243,75 | 8,48 |
| 92 | 17,24 | 243,75 | 14,14 |
| 93 | 26,71 | 243,75 | 9,12 |
| 94 | 17,54 | 243,75 | 13,90 |

Лист регистрации изменений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Изм**.** | Номера листов (страниц) | | | | Всего листов (страниц)  в документе | Номер  документа | Входящий номер сопроводительного  документа и дата | Под-пись | Дата |
| изменен-ных | заменен-ных | новых | аннулиро-  ванных |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |