|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | **УТВЕРЖДАЮ** |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

ВАГОН-ЦИСТЕРНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

МОДЕЛЬ XXX

Расчет прочности и герметичности фланцевого соединения

сливного устройства XXX

**XXX ДР6**

**Содержание**

[1 Цель расчета 3](#_Toc75852819)

[2 Исходные данные для расчета 4](#_Toc75852820)

[3 Порядок расчета 6](#_Toc75852821)

[4 Расчет момента на ключе инструмента при затяжке болтов фланцевого соединения 13](#_Toc75852822)

[5 Заключение 14](#_Toc75852823)

[6 Ссылочные документы 15](#_Toc75852824)

# 1 Цель расчета

Целью настоящего расчета является проверка прочности и герметичности фланцевого соединения сливного устройства с шиберной задвижкой  
XXX вагона-цистерны для перевозки нефтепродуктов модели   
15-9993 (далее – вагон), изготавливаемого в соответствии с комплектом конструкторской документации согласно XXX.

1.2 Расчет проведен в соответствии с ГОСТ 34233.4-2017 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений» (далее – Стандарт ).

# 2 Исходные данные для расчета

2.1 Параметры фланцевого соединения, принятые в расчете, определялись в соответствии с комплектом конструкторской документации XXX, а также проектом XXX.

2.2 Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные для расчета

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Значение |
| Материал прокладки | Резина |
| Допускаемые напряжения для болтов при затяжке , МПа | 424,2 |
| Допускаемые напряжения для болтов в рабочих условиях , МПа | 477,3 |
| Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы , мм2, | 2513,3 |
| Толщина прокладки , мм | 3,0 |
| Коэффициент обжатия прокладки | 0,1 |
| Условный модуль сжатия прокладки , МПа | 26 |
| Наружный диаметр прокладки , мм | 268,0 |
| Ширина прокладки , мм | 33,0 |
| Расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров втулки фланца | 0,550 |
| Модуль продольной упругости материала фланца при температуре 20°С , МПа | 210000,0 |
| Расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров втулки фланца | 0,910 |
| Толщина тарелки фланца , мм | 21,0 |
| Внутренний диаметр фланца , мм | 202,0 |
| Толщина обечайки плоского фланца , мм | 10,0 |
| Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру | 1,658 |
| Эквивалентная толщина втулки фланцев приварных встык , мм | 10,0 |
| Диаметр окружности расположения болтов , мм | 292,0 |

Продолжение таблицы 1

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Значение |
| Расстояние между опорным поверхностями гайки и головки болта , мм | 112,5 |
| Наружный диаметр болта , мм | 20,0 |
| Модуль продольной упругости материала болта при температуре 20°С , МПа | 210000,0 |
| Площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра , мм2 | 314,2 |
| Количество болтов | 8 |
| Расчетное давление (в данном случае – давление гидроиспытаний) , МПа | 0,5 |
| Внешняя осевая сила , Н | 0 |
| Прокладочный коэффициент | 1,0 |
| Наружный диаметр фланца , мм | 335,0 |
| Внешний изгибающий момент , Н·мм | 0 |
| Модуль продольной упругости материала болта при расчетной температуре , МПа | 218000,0 |
| Температурные коэффициенты линейного расширения материала фланцев , , 1/°С | 1,14E-05 |
| Толщины тарелок фланцев , , мм, | 21,0 |
| Температурные коэффициенты линейного расширения шайбы , , 1/°С | 0 |
| Толщина шайбы , мм | 0 |
| Расчетная температура фланца , , °С | 50 |
| Температурный коэффициент линейного расширения материала болта , 1/°С | 1,14E-05 |
| Расчетная температура болта , °С | 50 |
| Удельное давление обжатия прокладки , МПа | 4,0 |
| Допускаемое удельное давление , МПа | 20,0 |
| Коэффициент трения материалов резьбовой пары для поверхности болта со смазкой, *f* | 0,2 |

# 3 Порядок расчета

3.1  Проверка прочности болтов фланцевого соединения проводилась на основе условия:

- для болтов (при затяжке)

, (1)

- для болтов (в рабочих условиях)

, (2)

где и – расчетные напряжения в болтах при затяжке и в рабочих условиях, соответственно, МПа, определяемые по формулам (3) и (4);

и – допускаемые напряжения, МПа, для болтов при затяжке в рабочих условиях, соответственно; см. таблицу 1.

Расчетные напряжения в болтах при затяжке и в рабочих условиях, МПа, определяют по формулам:

- для болтов (при затяжке)

, (3)

- для болтов (в рабочих условиях)

, (4)

где – расчетная нагрузка на болты при затяжке фланцевого соединения, Н, определяемая по формуле (5);

– суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы, мм2, см. таблицу 1;

– расчетная нагрузка на болты фланцевого соединения в рабочих условиях, Н, определяемая по формуле (28).

Расчетную нагрузку на болты при затяжке фланцевого соединения, Н, определяют по формуле

, (5)

где – расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения, Н, определяемая по формуле (6);

– расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов, Н, определяемая по формуле (26).

, (6)

где – коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой, определяют для приварных встык и плоских фланцев с плоскими прокладками по формуле

, (7)

где – податливость прокладки, мм/Н, определяемая по формуле

, (8)

где – толщина прокладки, мм, см. таблицу 1;

– коэффициент обжатия прокладки, см. таблицу 1;

– условный модуль сжатия прокладки, МПа, см. таблицу 1;

– расчетный диаметр прокладки, мм, определяют по формуле

, (9)

где – наружный диаметр прокладки, мм, см. таблицу 1;

– эффективная ширина прокладки, мм, определяемая по формуле

, (10)

где – ширина прокладки, мм, см. таблицу 1.

и – угловые податливости фланцев при затяжке, 1/Н·мм, определяемые по формуле

, (11)

где – расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров втулки фланца, см. таблицу 1;

– модуль продольной упругости материала фланца при температуре 20°С, МПа, см. таблицу 1;

– коэффициент, определяемый по формуле

, (12)

где – расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров втулки фланца, см. таблицу 1;

– толщина тарелки фланца, мм, см. таблицу 1;

– параметр длины втулки, мм, определяемый по формуле

, (13)

где – внутренний диаметр фланца, мм, см. таблицу 1;

– толщина обечайки плоского фланца, мм, см. таблицу 1.

– расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров тарелки фланца, определяемый по формуле

, (14)

где – отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру, см. таблицу 1.

– расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров тарелки фланца, определяемый по формуле

. (15)

и – плечи усилия от действия давления внутри фланца, мм, определяемые по формуле

*,*  (16)

где – эквивалентная толщина втулки фланцев приварных встык,   
см. таблицу 1.

*b* – плечо усилий в болтах, мм, для приварных встык и плоских фланцев, определяемое по формуле

, (17)

где – диаметр окружности расположения болтов, мм, см. таблицу 1.

– податливость болтов, мм/Н, определяемая по формуле

, (18)

где – эффективная длина болта, мм, определяемая по формуле

, (19)

где – расстояние между опорным поверхностями гайки и головки болта, мм, см. таблицу 1;

– наружный диаметр болта, мм, см. таблицу 1.

– модуль продольной упругости материала болта при температуре 20°С,   
см. таблицу 1;

– площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра, мм2, см. таблицу 1;

– количество болтов, см. таблицу 1.

Равнодействующую нагрузку от давления , Н, определяют по формуле

, (20)

где – расчетное давление, МПа, см. таблицу 1.

– внешняя осевая сила, Н, см. таблицу 1.

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения , Н, определяют по формуле

, (21)

где – прокладочный коэффициент, см. таблицу 1.

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом для приварных встык и плоских фланцев определяют по формуле

, (22)

где – угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом, 1/Н·мм, определяемая для приварных встык и плоских фланцев по формуле

, (23)

где – наружный диаметр фланца, мм, см. таблицу 1.

– внешний изгибающий момент, Н·мм, см. таблицу 1.

Нагрузку, вызванную стесненностью температурных деформаций , Н, для приварных встык и плоских фланцев определяют по формуле

, (24)

где – жесткость фланцевого соединения, Н/мм, для приварных встык и плоских фланцев определяемая по формуле

, (25)

где – модуль продольной упругости материала болта при расчетной температуре, МПа, см. таблицу 1.

, – температурные коэффициенты линейного расширения материала фланцев, 1/°С, см. таблицу 1;

, – толщины тарелок фланцев, мм, см. таблицу 1;

и – температурные коэффициенты линейного расширения шайбы, 1/°С,   
см. таблицу 1;

– толщина шайбы, мм, см. таблицу 1;

, – расчетная температура фланца, °С, см. таблицу 1;

– температурный коэффициент линейного расширения материала болта, 1/°С, см. таблицу 1;

– расчетная температура болта, °С, см. таблицу 1.

Расчетную нагрузку на болты при затяжке, необходимую для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов , Н, определяют по формуле

*,* (26)

где – усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, Н, определяемое по формуле

, (27)

где – удельное давление обжатия прокладки, МПа, см. таблицу 1.

Расчетную нагрузку на болты фланцевого соединения в рабочих условиях , Н, определяют по формуле

*,* (28)

3.2  Проверка прочности прокладки фланцевого соединения проводилась на основе расчета удельного давления , МПа, и сравнения его с допускаемым значением по условию:

, (29)

где – допускаемое удельное давление, МПа, см. таблицу 1.

3.3  Результаты расчетов согласно формулам (1) – (29) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Величина | Номер формулы |
| Расчетная нагрузка на болты фланцевого соединения в рабочих условиях, Н |  | 324072 | 28 |
| Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, Н |  | 33764 | 27 |
| Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов, Н |  | 323135 | 26 |
| Жесткость фланцевого соединения, Н/мм |  | 9,77E+05 | 25 |
| Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, Н |  | 79,2 | 24 |
| Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом, 1/Н·мм |  | 2,17E-10 | 23 |
| Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом |  | 0,592 | 22 |

Продолжение таблицы 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Величина | Номер формулы |
| Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения, Н |  | 4440 | 21 |
| Равнодействующая нагрузка от давления, Н |  | 12511 | 20 |
| Эффективная длина болта, мм |  | 118,1 | 19 |
| Податливость болтов, мм/Н |  | 2,16E-07 | 18 |
| Плечо усилий в болтах, мм, | *b* | 22,9 | 17 |
| Плечи усилия от действия давления внутри фланца, мм, | , | 17,1 | 16 |
| Расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров тарелки фланца |  | 4,413 | 15 |
| Расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров тарелки фланца |  | 1,642 | 14 |
| Параметр длины втулки, мм |  | 44,9 | 13 |
| Коэффициент |  | 1,125 | 12 |
| Угловые податливости фланцев при затяжке, 1/Н·мм | , | 4,71E-10 | 11 |
| Эффективная ширина прокладки, мм |  | 21,8 | 10 |
| Расчетный диаметр прокладки, мм |  | 246,2 | 9 |
| Податливость прокладки, мм/Н |  | 4,07E-07 | 8 |
| Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой |  | 0,931 | 7 |
| Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения, Н, |  | 16093 | 6 |
| Расчетная нагрузка на болты фланцевого соединения при затяжке, Н\* |  | 323135 | 5 |
| Расчетные напряжения в болтах при затяжке, МПа |  | 128,6 | 4 |
| Расчетные напряжения в болтах в рабочих условиях (в данном случае – гидроиспытнии), МПа |  | 129,2 | 3 |
| Удельное давление на прокладку, МПа |  | 12,7 | 29 |
| \*Для определения расчетной нагрузки на один болт фланцевого соединения при затяжке необходимо данное значение разделить на количество болтов соединения | | | |

# 4 Расчет момента на ключе инструмента при затяжке болтов фланцевого соединения

4.1 Момент на ключе инструмента при затяжке, приходящийся на один болт фланцевого соединения, Н·м, определяют по формуле

, (30)

где – расчетная нагрузка при затяжке, приходящаяся на один болт фланцевого соединения, Н, определяемая по формуле

(31)

– коэффициент трения материалов р6езьбовой пары, см. таблицу 1.

Подставляя данные в формулы (30) и (31), получен момент на ключе инструмента при затяжке, приходящийся на один болт фланцевого соединения = 162 Н·м.

# 5 Заключение

5.1 На основании выполненного расчета установлено, что конструкции болтов и прокладки фланцевого соединения удовлетворяют условию прочности. При этом получены следующие результаты:

- расчетные напряжения в болтах при затяжке = 128,6 МПа, что менее допускаемого значения 424,2 МПа;

- расчетные напряжения в болтах при гидроиспытании = 129,2 МПа, что менее допускаемого значения 477,3 МПа;

- расчетное удельное давление на прокладку = 12,7 МПа, что менее допускаемого значения 20 МПа.

5.2 Расчетная нагрузка на болты при затяжке фланцевого соединения, обеспечивающая его герметичность, составила = 323135 Н, что эквивалентно усилию на один болт – 40392 Н.

5.3 Момент на ключе инструмента при затяжке, приходящийся на один болт фланцевого соединения, составил = 162 Н·м

# 6 Ссылочные документы

1. ГОСТ 34233.4–2017 Сосуды и аппараты. Нормы им методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

2. XXX Вагон-цистерна для перевозки нефтепродуктов. Модель XXX, XXX

3. XXX Сливное устройство, разработка XXX