

АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»




ОАО "Славнефть-ЯНОС"
Цех №13. СНН в автоцистерны. Титул 351/4
РЕСИВЕР ВОЗДУХА КИП
Е-4

Расчеты

Е-4.00.00.000 РР

Зав. отделом №16

 С. В. Салов

« ____ » _____ 2016 г.

Главный конструктор проекта

 Е. Н. Логунова

« ____ » _____ 2016 г.

Москва, 2016 г.




| | | | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |

Этот документ является собственностью
АО "ВНИИНЕФТЕМАШ" и не подлежит
копированию и распространению без его согласия.

| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| 19786.4 | | | | |

Оглавление

| | |
|---|-----|
| Расчёт на прочность сосуда..... | 3 |
| Определение давления испытания | 4 |
| Расчет давления испытания в соответствии с ГОСТ Р 52630-2012..... | 4 |
| Проверка необходимости проведения расчетов на прочность в условиях испытания..... | 5 |
| Колонный аппарат..... | 6 |
| Опора..... | 14 |
| Цилиндрическая обечайка..... | 23 |
| Днище эллиптическое..... | 26 |
| Штуцер МН DN600..... | 28 |
| Расчёт в рабочих условиях | 29 |
| Штуцер П1, О1 DN50..... | 32 |
| Расчёт в рабочих условиях | 33 |
| Расчет на прочность по МКЭ в рабочих условиях..... | 34 |
| Штуцер PSV DN80..... | 39 |
| Расчёт в рабочих условиях | 40 |
| Штуцер PI DN50..... | 42 |
| Расчёт в рабочих условиях | 43 |
| Штуцер D DN25 | 45 |
| Расчёт в рабочих условиях | 46 |
| Отвод DN25 | 50 |
| Расчёт прочности отвода по СА 03-003-07 | 50 |
| Расчёт в рабочих условиях | 50 |
| Отвод DN50 | 52 |
| Расчёт прочности отвода по СА 03-003-07 | 52 |
| Расчёт в рабочих условиях | 52 |
| Фланец с крышкой DN600 | 54 |
| Расчёт на прочность по ГОСТ Р 52857.4-2007 и ГОСТ Р 52857.2-2007..... | 54 |
| Расчёт в рабочих условиях | 55 |
| Фланцевое соединение DN80..... | 65 |
| Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2..... | 65 |
| Расчёт в рабочих условиях | 66 |
| Фланцевое соединение DN50..... | 74 |
| Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2..... | 74 |
| Расчёт в рабочих условиях | 75 |
| Фланцевое соединение DN50-Rc1/2..... | 83 |
| Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2..... | 83 |
| Расчёт в рабочих условиях | 84 |
| Фланцевое соединение DN25..... | 94 |
| Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2..... | 94 |
| Расчёт в рабочих условиях | 96 |
| Список литературы | 104 |

| | | | | | | | | | |
|----------|-----------|----------|---|---------|----------------------------|--|-------------------|------|--------|
| | | | | | Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |
| Разраб. | Иванов | |  | 07.2016 | Ресивер воздуха КИП Е-4 | | Лит. | Лист | Листов |
| Пров. | Цыпора | |  | 07.2016 | | | Т | 2 | 104 |
| Рук. | | | | | | | АО «ВНИИНЕФТЕМАШ» | | |
| Н.контр. | Копчикова | |  | 07.2016 | | | | | |
| Утв. | | | | | Расчеты | | | | |

Расчёт на прочность сосуда

Наименование аппарата

Ресивер воздуха КИП Е-4

Название установки:

Цех №13. СНН в автоцистерны. Титул 351/4

Наименование объекта:

ОАО "Славнефть-ЯНОС"

Сосуд, содержащий рабочую жидкость:

Het

Вид испытаний:

Гидроиспытания

Учёт сейсмических нагрузок:

Het

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инва. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 3 |

Определение давления испытания

Расчет давления испытания в соответствии с ГОСТ Р 52630-2012

Расчетные условия

Расчетное давление $P_p =$ 0,8 МПа

Материал элемента сосуда, работающий под давлением 09Г2С ГОСТ 5520

Допускаемые напряжения для материала корпуса при температуре 20 °С $[\sigma]^{20} =$ 196 МПа

Допускаемые напряжения для материала корпуса при расчетной температуре $[\sigma]^t =$ 188,5 МПа

Расчетное условное давление $P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} =$ 0,832 МПа

Материал элемента сосуда, работающий под давлением 09Г2С ГОСТ 19281

Допускаемые напряжения для материала корпуса при температуре 20 °С $[\sigma]^{20} =$ 183 МПа

Допускаемые напряжения для материала корпуса при расчетной температуре $[\sigma]^t =$ 174 МПа

Расчетное условное давление $P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} =$ 0,841 МПа

Материал элемента сосуда, работающий под давлением 09Г2С КП245 ГОСТ 8479

Допускаемые напряжения для материала корпуса при температуре 20 °С $[\sigma]^{20} =$ 163,3 МПа

Допускаемые напряжения для материала корпуса при расчетной температуре $[\sigma]^t =$ 154,6 МПа

Расчетное условное давление $P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} =$ 0,845 МПа

Пробное давление испытания сосуда определяют с учетом минимальных значений расчетного давления и отношения допускаемых напряжений материалов (условное давление) сборочных единиц (элементов сосуда), работающих под давлением, за исключением болтов (шпилек).

Расчетное давление гидроиспытания, вычисленное по ГОСТ Р 52630-2012 п.8.11.3 $P_{гн} = 1,25 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} =$ 1,04 МПа

| | | | | | | | | | |
|---------------|---------|----------------|-------|--------------|------------------|---------------|--|----------------|--|
| Изнв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | Взам. инв. № | | Изнв. № дубл. | | Подпись и дата | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| | | | | | Лист | | | | |
| | | | | | 4 | | | | |

Проверка необходимости проведения расчетов на прочность в условиях испытания

Проверка необходимости проведения расчетов на прочность цилиндрических обечаек и конических элементов, выпуклых и плоских днищ в условиях испытания по ГОСТ Р 52857.1-2007 п.8.4

Расчетное давление испытания $P_{II} = 1,04$ МПа

Гидростатическое давление при полном заполнении аппарата испытательной жидкостью $P_{cm} = 0,05$ МПа

$$P_{II} + P_{cm} < 1,35 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t}$$

$P_{II} + P_{cm} = 1,09$ МПа — давление испытания с учетом гидростатического давления жидкости

$$1,35 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} = 1,12$$
 МПа

1,09 МПа < 1,12 МПа

Закключение: **Проведение расчета на прочность в условиях испытания не требуется**

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 5 |

Колонный аппарат

Расчет на прочность по ГОСТ Р 51273-99 и ГОСТ Р 51274-99

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Колонный аппарат

Опора-юбка в нижней части колонны

Учитывается ветровая нагрузка на часть колонны ниже опоры-юбки

Геометрические характеристики внешних элементов задаются по отдельности

Период собственных колебаний определяется автоматически численными методами

Период собственных колебаний определяется с учетом прибавок на коррозию

Исходные данные

Ветровой район и сейсмичность

| | | | |
|--|-----------------|-----------|-------------------|
| Минимальный момент инерции подошвы фундамента | I_F | 7.854e+11 | мм ⁴ |
| Коэффициент неравномерности сжатия (таб.1 с примечанием) | C_F | 0.06 | Н/мм ³ |
| Нормативное значение ветрового давления | q_0 | 230 | Па |
| Значение сейсмического коэффициента грунта(таб.3) ($K_s=0$ при баллах < 7) | K_s | 0 | |
| Коэффициент прочности кольцевого шва | φ_r | 0.9 | |
| Высота постамент | $H_{осн}$ | 0 | мм |
| Высота колонны | H | 6850 | мм |
| Количество элементов аппарата (Задается автоматически) | $N_{elements}$ | 4 | |
| Число участков (Задается автоматически) | $N_{участков}$ | 7 | |
| Номер сечения приварки юбки (Задается автоматически) | $N_{сеч_юбки}$ | 6 | |

Геометрические характеристики участков колонны

| N | Координата расчетного сечения, мм | Координата центра тяжести участка, мм | Внутренний диаметр, мм | Наружный диаметр, мм | Высота участка, мм | Исполнительная толщина, мм | Сумма прибавок к толщине, мм | Косинус половины угла при вершине |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0 | 473.9 | 1600 | 1616 | 947.9 | 8 | 2.8 | 1 |
| 2 | 947.9 | 1422 | 1600 | 1616 | 947.9 | 8 | 2.8 | 1 |
| 3 | 6400 | 6509 | 1600 | 1620 | 450 | 10 | 4.3 | 1 |
| 4 | 4200 | 5300 | 1600 | 1620 | 2200 | 10 | 2.8 | 1 |
| 5 | 2000 | 3100 | 1600 | 1620 | 2200 | 10 | 2.8 | 1 |

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 6 |

| | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|-------|----|-----|---|
| 6 | 1896 | 1936 | 1600 | 1620 | 104.2 | 10 | 4.3 | 1 |
| 7 | 1550 | 1856 | 1600 | 1620 | 345.8 | 10 | 4.3 | 1 |

Расчет в режиме Рабочих условий

Свойства материалов и нагрузки от давления, веса корпуса и столба жидкости в расчетных сечениях колонны

| N | Допускаемое напряжение, МПа | Модуль упругости, МПа | Вес участка колонны, Н | Осевое сжимающее усилие, Н | Давление, МПа |
|---|-----------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|---------------|
| 1 | 196 | 1.99e+05 | 4839 | 3.647e+04 | 0 |
| 2 | 188.5 | 1.96e+05 | 2950 | 3.163e+04 | 0 |
| 3 | 188.5 | 1.96e+05 | 2253 | 2253 | 0.8 |
| 4 | 188.5 | 1.96e+05 | 8569 | 1.082e+04 | 0.8 |
| 5 | 188.5 | 1.96e+05 | 9555 | 1.939e+04 | 0.8 |
| 6 | 188.5 | 1.96e+05 | 2453 | 1.98e+04 | 0.8 |
| 7 | 188.5 | 1.96e+05 | 5848 | -1845 | 0.8 |

Результаты расчета

| | | |
|--|--------------------------|-----------------|
| Период собственных колебаний | $T = 0.1764$ | с |
| Параметр, определяемый по формуле 16 | $\varepsilon = 0.003387$ | |
| Коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра | $\nu = 0.9026$ | |
| Коэффициент динамичности при действии ветровой нагрузки | $\xi = 1.329$ | |
| Моменты инерции при расчете по п. 4.2 | $I_1 = -$ | мм ⁴ |
| | $I_2 = -$ | мм ⁴ |
| | $I_3 = -$ | мм ⁴ |

Вертикальное усилие, изгибающий момент и перерезывающее усилие в расчетном сечении

| N | Координата расчетного сечения, мм | Вертикальное усилие, Н | Изгибающий момент, Н·мм | Перерезывающая сила, Н |
|---|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 3.647e+04 | 9.865e+06 | 2553 |
| 2 | 6400 | 2253 | 2.882e+04 | 263.7 |
| 3 | 2000 | 1.939e+04 | 5.246e+06 | 2015 |
| 4 | 1896 | 1.98e+04 | 5.458e+06 | 2086 |

| | | | | | |
|------------------|---------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. | № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | |
| | | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | | Лист |
| | | | | | 7 |

Продольные напряжения

- на наветренной стороне

$$\sigma_{\perp} = \frac{p(D+s)}{4(s-c)} - \frac{F}{\pi D(s-c)} + \frac{4M}{\pi D^3(s-c)}$$

- на подветренной стороне

$$\sigma_{\perp} = \frac{p(D+s)}{4(s-c)} - \frac{F}{\pi D(s-c)} - \frac{4M}{\pi D^3(s-c)}$$

Кольцевые напряжения

$$\sigma_{\theta} = \frac{p(D+s)}{2(s-c)}$$

Эквивалентные напряжения

- на наветренной стороне

$$\sigma_{\text{эл}} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 - \sigma_{\perp} \sigma_{\theta} + \sigma_{\theta}^2}$$

- на подветренной стороне

$$\sigma_{\text{эл}} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 - \sigma_{\perp} \sigma_{\theta} + \sigma_{\theta}^2}$$

Продольные и эквивалентные напряжения на подветренной и наветренной стороне аппарата, кольцевые напряжения

| N | Координата расчетного сечения, мм | Продольные напряжения на наветренной стороне, МПа | Продольные напряжения на подветренной стороне, МПа | Кольцевые напряжения, МПа | Эквивалентные напряжения на наветренной стороне, МПа | Эквивалентные напряжения на подветренной стороне, МПа |
|---|-----------------------------------|---|--|---------------------------|--|---|
| 1 | 0 | -0.4516 | -2.339 | 0 | 0.4516 | 2.339 |
| 2 | 6400 | 56.42 | 56.41 | 113 | 97.85 | 97.85 |
| 3 | 2000 | 44.55 | 43.82 | 89.44 | 77.46 | 77.47 |
| 4 | 1896 | 56.28 | 55.32 | 113 | 97.85 | 97.85 |

Условие прочности на наветренной и подветренной стороне аппарата

| N | Координата расчетного сечения, мм | Расчетные напряжения на наветренной стороне, МПа | Допускаемые напряжения на наветренной стороне, МПа | Расчетные напряжения на подветренной стороне, МПа | Допускаемые напряжения на подветренной стороне, МПа |
|---|-----------------------------------|--|--|---|---|
| 1 | 0 | 0.4516 | 196 | 2.339 | 196 |
| 2 | 6400 | 97.85 | 169.7 | 97.85 | 169.7 |
| 3 | 2000 | 77.46 | 169.7 | 77.47 | 169.7 |
| 4 | 1896 | 97.85 | 169.7 | 97.85 | 169.7 |

Нагрузки на фундамент или опорную конструкцию в рабочих условиях

Вертикальное осевое усилие 3.647e+04 Н

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| Лист | | | | |
| 8 | | | | |

| | | |
|---------------------|-------------|------|
| Перерезывающая сила | 2553 | Н |
| Изгибающий момент | 9.86524e+06 | Н·мм |

Расчет в режиме Гидравлических испытаний

Свойства материалов и нагрузки от давления, веса корпуса и столба жидкости в расчетных сечениях колонны

| N | Допускаемое напряжение, МПа | Модуль упругости, МПа | Вес участка колонны, Н | Осевое сжимающее усилие, Н | Давление, МПа |
|---|-----------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|---------------|
| 1 | 272.5 | 1.99e+05 | 4839 | 1.283e+05 | 0 |
| 2 | 272.5 | 1.99e+05 | 2950 | 1.235e+05 | 0 |
| 3 | 272.5 | 1.99e+05 | 8301 | 2253 | 1.04 |
| 4 | 272.5 | 1.99e+05 | 5.196e+04 | 1.082e+04 | 1.04 |
| 5 | 272.5 | 1.99e+05 | 5.196e+04 | 1.939e+04 | 1.04 |
| 6 | 272.5 | 1.99e+05 | 2453 | 1.98e+04 | 1.04 |
| 7 | 272.5 | 1.99e+05 | 5848 | -1845 | 1.04 |

Результаты расчета

| | | |
|--|--------------------------|-----------------|
| Период собственных колебаний | $T = 0.4445$ | с |
| Параметр, определяемый по формуле 16 | $\varepsilon = 0.008534$ | |
| Коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра | $\nu = 0.9026$ | |
| Коэффициент динамичности при действии ветровой нагрузки | $\xi = 1.464$ | |
| Моменты инерции при расчете по п. 4.2 | $I_1 = -$ | мм ⁴ |
| | $I_2 = -$ | мм ⁴ |
| | $I_3 = -$ | мм ⁴ |

Вертикальное усилие, изгибающий момент и перерезывающее усилие в расчетном сечении

| N | Координата расчетного сечения, мм | Вертикальное усилие, Н | Изгибающий момент, Н·мм | Перерезывающая сила, Н |
|---|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 1.283e+05 | 6.304e+06 | 1582 |
| 2 | 6400 | 2253 | 1.514e+04 | 138.5 |
| 3 | 2000 | 1.939e+04 | 3.4e+06 | 1315 |
| 4 | 1896 | 1.98e+04 | 3.538e+06 | 1335 |

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 9 |

Продольные напряжения

- на наветренной стороне

$$\sigma_{\perp} = \frac{p(D+s)}{4(s-c)} - \frac{F}{\pi D(s-c)} + \frac{4M}{\pi D^2(s-c)}$$

- на подветренной стороне

$$\sigma_{\perp} = \frac{p(D+s)}{4(s-c)} - \frac{F}{\pi D(s-c)} - \frac{4M}{\pi D^2(s-c)}$$

Кольцевые напряжения

$$\sigma_r = \frac{p(D+s)}{2(s-c)}$$

Эквивалентные напряжения

- на наветренной стороне

$$\sigma_{\text{Э1}} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 - \sigma_{\perp} \sigma_r + \sigma_r^2}$$

- на подветренной стороне

$$\sigma_{\text{Э1}} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 - \sigma_{\perp} \sigma_r + \sigma_r^2}$$

Продольные и эквивалентные напряжения на подветренной и наветренной стороне аппарата, кольцевые напряжения

| N | Координата расчетного сечения, мм | Продольные напряжения на наветренной стороне, МПа | Продольные напряжения на подветренной стороне, МПа | Кольцевые напряжения, МПа | Эквивалентные напряжения на наветренной стороне, МПа | Эквивалентные напряжения на подветренной стороне, МПа |
|---|-----------------------------------|---|--|---------------------------|--|---|
| 1 | 0 | -4.306 | -5.512 | 0 | 4.306 | 5.512 |
| 2 | 6400 | 73.36 | 73.36 | 146.9 | 127.2 | 127.2 |
| 3 | 2000 | 57.84 | 57.37 | 116.3 | 100.7 | 100.7 |
| 4 | 1896 | 73.06 | 72.44 | 146.9 | 127.2 | 127.2 |

Условие прочности на наветренной и подветренной стороне аппарата

| N | Координата расчетного сечения, мм | Расчетные напряжения на наветренной стороне, МПа | Допускаемые напряжения на наветренной стороне, МПа | Расчетные напряжения на подветренной стороне, МПа | Допускаемые напряжения на подветренной стороне, МПа |
|---|-----------------------------------|--|--|---|---|
| 1 | 0 | 4.306 | 272.5 | 5.512 | 272.5 |
| 2 | 6400 | 127.2 | 245.2 | 127.2 | 245.2 |
| 3 | 2000 | 100.7 | 245.2 | 100.7 | 245.2 |
| 4 | 1896 | 127.2 | 245.2 | 127.2 | 245.2 |

Нагрузки на фундамент или опорную конструкцию

| | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------|----------------|--------------|---------------|--|---|--|--|---|---|-------|
| Инов. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Условие прочности на наветренной и подветренной стороне аппарата | | | | | | |
| | | | | | N | Координата расчетного сечения, мм | Расчетные напряжения на наветренной стороне, МПа | Допускаемые напряжения на наветренной стороне, МПа | Расчетные напряжения на подветренной стороне, МПа | Допускаемые напряжения на подветренной стороне, МПа | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 1 | 0 | 4.306 | 272.5 | 5.512 | 272.5 |
| | | | | | | 2 | 6400 | 127.2 | 245.2 | 127.2 | 245.2 |
| | | | | | | 3 | 2000 | 100.7 | 245.2 | 100.7 | 245.2 |
| | | | | | | 4 | 1896 | 127.2 | 245.2 | 127.2 | 245.2 |
| | | | | | | Нагрузки на фундамент или опорную конструкцию | | | | | |
| | | | | | | Е-4.00.00.000 РР | | | | | |
| | | | | | | Лист | | | | | |
| | | | | | | 10 | | | | | |

В условиях гидроиспытания

| | | |
|----------------------------|-----------|------|
| Вертикальное осевое усилие | 1.283e+05 | Н |
| Перерезывающая сила | 1582 | Н |
| Изгибающий момент | 6.304e+06 | Н·мм |

Расчет в режиме Монтажа

Свойства материалов и нагрузки от давления, веса корпуса и столба жидкости в расчетных сечениях колонны

| N | Допускаемое напряжение, МПа | Модуль упругости, МПа | Вес участка колонны, Н | Осевое сжимающее усилие, Н | Давление, МПа |
|---|-----------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|---------------|
| 1 | 196 | 1.99e+05 | 4839 | 2.943e+04 | 0 |
| 2 | 196 | 1.99e+05 | 2950 | 2.459e+04 | 0 |
| 3 | 272.5 | 1.99e+05 | 2253 | 2253 | 0 |
| 4 | 272.5 | 1.99e+05 | 8569 | 1.082e+04 | 0 |
| 5 | 272.5 | 1.99e+05 | 8569 | 1.939e+04 | 0 |
| 6 | 272.5 | 1.99e+05 | 408 | 1.98e+04 | 0 |
| 7 | 272.5 | 1.99e+05 | 1845 | -1845 | 0 |

Результаты расчета

| | | |
|--|--------------------------|-----------------|
| Период собственных колебаний | $T = 0.1882$ | с |
| Параметр, определяемый по формуле 16 | $\varepsilon = 0.003612$ | |
| Коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра | $\nu = 0.9026$ | |
| Коэффициент динамичности при действии ветровой нагрузки | $\xi = 1.337$ | |
| Моменты инерции при расчете по п. 4.2 | $I_1 = -$ | мм ⁴ |
| | $I_2 = -$ | мм ⁴ |
| | $I_3 = -$ | мм ⁴ |

Вертикальное усилие, изгибающий момент и перерезывающее усилие в расчетном сечении

| N | Координата расчетного сечения, мм | Вертикальное усилие, Н | Изгибающий момент, Н·мм | Перерезывающая сила, Н |
|---|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 2.943e+04 | 1.001e+07 | 2550 |
| 2 | 6400 | 2253 | 3.003e+04 | 274.7 |

| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | <div>Результаты расчета</div> <div>Период собственных колебаний<div>$T = 0.1882$</div><div>с</div></div> <div>Параметр, определяемый по формуле 16<div>$\varepsilon = 0.003612$</div></div> <div>Коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра<div>$\nu = 0.9026$</div></div> <div>Коэффициент динамичности при действии ветровой нагрузки<div>$\xi = 1.337$</div></div> <div>Моменты инерции при расчете по п. 4.2<div><div>$I_1 = -$</div><div>мм⁴</div><div>$I_2 = -$</div><div>мм⁴</div><div>$I_3 = -$</div><div>мм⁴</div></div></div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---|--|--|--|--|---|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---|---|-----------|-----------|------|---|------|------|-----------|-------|
| | | | | | <div>Вертикальное усилие, изгибающий момент и перерезывающее усилие в расчетном сечении</div> <table><thead><tr><th>N</th><th>Координата расчетного сечения, мм</th><th>Вертикальное усилие, Н</th><th>Изгибающий момент, Н·мм</th><th>Перерезывающая сила, Н</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0</td><td>2.943e+04</td><td>1.001e+07</td><td>2550</td></tr><tr><td>2</td><td>6400</td><td>2253</td><td>3.003e+04</td><td>274.7</td></tr></tbody></table> | | | | | N | Координата расчетного сечения, мм | Вертикальное усилие, Н | Изгибающий момент, Н·мм | Перерезывающая сила, Н | 1 | 0 | 2.943e+04 | 1.001e+07 | 2550 | 2 | 6400 | 2253 | 3.003e+04 | 274.7 |
| N | Координата расчетного сечения, мм | Вертикальное усилие, Н | Изгибающий момент, Н·мм | Перерезывающая сила, Н | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 2.943e+04 | 1.001e+07 | 2550 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 6400 | 2253 | 3.003e+04 | 274.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | <div>Е-4.00.00.000 РР</div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <div>Лист</div> <div>11</div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | |
|---|------|-----------|-----------|------|
| 3 | 2000 | 1.939e+04 | 5.394e+06 | 2047 |
| 4 | 1896 | 1.98e+04 | 5.608e+06 | 2078 |

Продольные напряжения

- на наветренной стороне

$$\sigma_{\perp} = \frac{p(D+s)}{4(s-c)} - \frac{F}{\pi D(s-c)} + \frac{4M}{\pi D^2(s-c)}$$

- на подветренной стороне

$$\sigma_{\perp} = \frac{p(D+s)}{4(s-c)} - \frac{F}{\pi D(s-c)} - \frac{4M}{\pi D^2(s-c)}$$

Кольцевые напряжения

$$\sigma_{\parallel} = \frac{p(D+s)}{2(s-c)}$$

Эквивалентные напряжения

- на наветренной стороне

$$\sigma_{\text{Э1}} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 - \sigma_{\perp} \sigma_{\parallel} + \sigma_{\parallel}^2}$$

- на подветренной стороне

$$\sigma_{\text{Э1}} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 - \sigma_{\perp} \sigma_{\parallel} + \sigma_{\parallel}^2}$$

Продольные и эквивалентные напряжения на подветренной и наветренной стороне аппарата, кольцевые напряжения

| N | Координата расчетного сечения, мм | Продольные напряжения на наветренной стороне, МПа | Продольные напряжения на подветренной стороне, МПа | Кольцевые напряжения, МПа | Эквивалентные напряжения на наветренной стороне, МПа | Эквивалентные напряжения на подветренной стороне, МПа |
|---|-----------------------------------|---|--|---------------------------|--|---|
| 1 | 0 | -0.1691 | -2.083 | 0 | 0.1691 | 2.083 |
| 2 | 6400 | -0.076 | -0.08124 | 0 | 0.076 | 0.08124 |
| 3 | 2000 | -0.1632 | -0.9084 | 0 | 0.1632 | 0.9084 |
| 4 | 1896 | -0.2017 | -1.18 | 0 | 0.2017 | 1.18 |

Условие прочности на наветренной и подветренной стороне аппарата

| N | Координата расчетного сечения, мм | Расчетные напряжения на наветренной стороне, МПа | Допускаемые напряжения на наветренной стороне, МПа | Расчетные напряжения на подветренной стороне, МПа | Допускаемые напряжения на подветренной стороне, МПа |
|---|-----------------------------------|--|--|---|---|
| 1 | 0 | 0.1691 | 196 | 2.083 | 196 |
| 2 | 6400 | 0.076 | 272.5 | 0.08124 | 272.5 |
| 3 | 2000 | 0.1632 | 272.5 | 0.9084 | 272.5 |
| 4 | 1896 | 0.2017 | 272.5 | 1.18 | 272.5 |

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| Лист | | | | |
| 12 | | | | |

**Нагрузки на фундамент или опорную конструкцию
в условиях монтажа**

| | | |
|----------------------------|-------------|------|
| Вертикальное осевое усилие | 2.943e+04 | Н |
| Перерезывающая сила | 2550 | Н |
| Изгибающий момент | 1.00054e+07 | Н·мм |

>

| | | | | | |
|--------------------------|----------------|----------|---------------|----------------|------------------|
| Инов. № подл. 19786.4 | Подпись и дата | | Инов. № дубл. | Подпись и дата | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Инов. № подл. 19786.4 | Взам. инв. № | | Инов. № дубл. | Взам. инв. № | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Инов. № подл. 19786.4 | Подпись и дата | | Инов. № дубл. | Подпись и дата | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | |
| | | | | | Лист |
| | | | | | 13 |

Опора

Расчет на прочность опоры-юбки по ГОСТ Р 51274-99;

Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа.

Нормы и методы расчета на прочность

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Цилиндрическая опора-юбка

Исполнение 1: отдельные столики под анкерные болты

Исходные данные

Опорная обечайка:

| | | | |
|--|------------------|------|----|
| Материал корпуса аппарата | 09Г2С | | |
| Материал опоры | 09Г2С | | |
| Внутренний диаметр опоры в месте примыкания к сосуду | $D_{0(Г-Г)}$ | 1600 | мм |
| Исполнительная толщина стенки сосуда в месте приварки | $S_{\text{апп}}$ | 10 | мм |
| Исполнительная толщина опоры в месте приварки к сосуду | S_0 | 8 | мм |
| Сумма прибавок к толщине опоры в месте приварки к сосуду | C_0 | 2.8 | мм |
| Высота опорной обечайки или части опорной обечайки, примыкающей к сосуду | H_0 | 1896 | мм |
| Количество отверстий в опорной обечайке (отверстия менее 0,04D не учитываются) | $N_{\text{отв}}$ | 2 | |
| Катет сварного шва в месте приварки опорной обечайки к аппарату | a | 8 | мм |
| Коэффициент прочности кольцевого шва | φ_T | 0.9 | |
| Коэффициент прочности продольного шва | φ_P | 0.9 | |

Опорный узел:

| | | | |
|---|-------|-----|----|
| Материал опорных колец | 09Г2С | | |
| Ширина нижнего опорного кольца | b_1 | 190 | мм |
| Выступающая ширина нижнего опорного кольца | b_2 | 132 | мм |
| Длина верхнего опорного элемента | b_3 | 196 | мм |
| Исполнительная толщина нижнего опорного кольца | s_1 | 20 | мм |
| Сумма прибавок к толщине нижнего опорного кольца | c_1 | 2 | мм |
| Исполнительная толщина верхнего опорного элемента | s_2 | 25 | мм |
| Сумма прибавок к толщине верхнего опорного элемента | c_2 | 2 | мм |
| Исполнительная толщина ребра | s_4 | 8 | мм |
| Сумма прибавок к толщине ребра | c_4 | 2 | мм |
| Ширина верхнего опорного элемента | b_4 | 132 | мм |

| | | | | | | | | | |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------------|--|--|--|--|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата | | | | | |
| 19786.4 | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| | | | | | Лист | | | | |
| | | | | | 14 | | | | |

| | | | |
|---|--------------|-------|-----|
| Минимальное расстояние между ребрами | b_5 | 160 | мм |
| Максимальное расстояние между ребрами | b_6 | 808.4 | мм |
| Высота опорного узла | h_1 | 345 | мм |
| Ширина усиливающей пластины | b_7 | 100 | мм |
| Толщина усиливающей пластины | s_3 | 10 | мм |
| Допускаемое напряжение для бетона на сжатие | $[\sigma]_6$ | 15 | МПа |

Анкерные болты:

| | | | |
|--|-------------------|-------|-----------------|
| Материал и диаметр анкерных болтов | 09Г2С, Diam = М20 | | |
| Внутренний диаметр резьбы анкерных болтов | d_6 | 16.93 | мм |
| Число болтов | n | 6 | |
| Диаметр окружности расположения анкерных болтов | D_6 | 1760 | мм |
| Площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы | A_6 | 225.1 | мм ² |
| Диаметр окружности, вписанной в шестигранник гайки анкерного болта | d | 27.7 | мм |
| Сумма прибавок к диаметру болта | c_6 | 2 | мм |

Геометрические характеристики участков колонны

| N | Угол расположения отверстий $\alpha_{\text{отв}}$, град | Внутренний диаметр отверстий $d_{\text{отв}}$, мм | Ширина укрепления отверстий $h_{\text{отв}}$, мм | Толщина укрепления отверстий $S_{\text{отв}}$, мм | Высота отверстия $H_{\text{отв}}$, мм | Расстояние от центра отверстия до нижнего опорного кольца $H_{0_отв}$, мм |
|---|--|--|---|--|--|---|
| 1 | 0 | 500 | 120 | 8 | 0 | 680 |
| 2 | 180 | 500 | 120 | 8 | 0 | 680 |

Расчет в режиме Рабочих условий

Условия нагружения

| | | | |
|--|--------------------|-----------|------|
| Температура опоры в сечении приварки к аппарату | $T_{\text{верхн}}$ | 50 | °C |
| Температура опоры-юбки в нижнем опорном сечении | $T_{\text{нижн}}$ | 20 | °C |
| Температура в сечении наиболее ослабленном отверстиями | $T_{\text{отв}}$ | 20 | °C |
| Осевое сжимающее усилие в сечении приварки к аппарату | $F_{\text{верхн}}$ | 2.868e+04 | Н |
| Осевое сжимающее усилие в нижнем опорном сечении | $F_{\text{нижн}}$ | 3.647e+04 | Н |
| Осевое сжимающее усилие в сечении наиболее ослабленном отверстиями | $F_{\text{отв}}$ | 3.647e+04 | Н |
| Суммарный изгибающий момент в сечении приварки к аппарату | $M_{\text{верхн}}$ | 5.458e+06 | Н·мм |
| Суммарный изгибающий момент в нижнем опорном сечении | $M_{\text{нижн}}$ | 9.865e+06 | Н·мм |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---------|----------------|--------------|--------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | жения отвер- | диаметр от- | репления от- | репления от- | версия | центра отвер- |
| | | | | | | N стий $\alpha_{\text{отв}}$, град | верстий $d_{\text{отв}}$, мм | верстий $h_{\text{отв}}$, мм | верстий $S_{\text{отв}}$, мм | $H_{\text{отв}}$, мм | стия до нижнего опорного кольца $H_{0_отв}$, мм |
| | | | | | | 1 0 | 500 | 120 | 8 | 0 | 680 |
| | | | | | | 2 180 | 500 | 120 | 8 | 0 | 680 |
| <p>Расчет в режиме Рабочих условий</p> <p><i>Условия нагружения</i></p> <p>Температура опоры в сечении приварки к аппарату $T_{\text{верхн}}$ 50 °C</p> <p>Температура опоры-юбки в нижнем опорном сечении $T_{\text{нижн}}$ 20 °C</p> <p>Температура в сечении наиболее ослабленном отверстиями $T_{\text{отв}}$ 20 °C</p> <p>Осевое сжимающее усилие в сечении приварки к аппарату $F_{\text{верхн}}$ 2.868e+04 Н</p> <p>Осевое сжимающее усилие в нижнем опорном сечении $F_{\text{нижн}}$ 3.647e+04 Н</p> <p>Осевое сжимающее усилие в сечении наиболее ослабленном отверстиями $F_{\text{отв}}$ 3.647e+04 Н</p> <p>Суммарный изгибающий момент в сечении приварки к аппарату $M_{\text{верхн}}$ 5.458e+06 Н·мм</p> <p>Суммарный изгибающий момент в нижнем опорном сечении $M_{\text{нижн}}$ 9.865e+06 Н·мм</p> | | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | E-4.00.00.000 PP | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | | 15 |

Суммарный изгибающий момент в сечении наиболее ослабленном отверстиями

$M_{отв}$

9.865e+06

Н·мм

Свойства материала

Материал корпуса аппарата

09Г2С

Допускаемое напряжение для материала корпуса

$[\sigma]_к$

188.5

МПа

Материал опоры

09Г2С

Допускаемое напряжение для материала опорной обечайки в верхнем сечении

$[\sigma]_0$

188.5

МПа

Допускаемое напряжение для материала опорной обечайки в нижнем сечении

$[\sigma]_{0_нижн}$

196

МПа

Допускаемое напряжение для материала опорной обечайки в наиболее ослабленном сечении

$[\sigma]_{отв}$

196

МПа

Модуль упругости материала опорной обечайки, прилегающей к корпусу сосуда

E_0

1.96e+05

МПа

Материал опорных колец

09Г2С

Допускаемое напряжение для материала нижнего опорного кольца

$[\sigma]_A$

196

МПа

Допускаемые напряжения для материала верхнего опорного кольца

$[\sigma]_{AB}$

196

МПа

Допускаемые напряжения для материала ребра

$[\sigma]_{Ap}$

196

МПа

Материал и диаметр анкерных болтов

09Г2С, Diam = M20

Допускаемое напряжение для материала анкерных болтов

$[\sigma]_в$

170

МПа

Результаты расчета

Условие устойчивости цилиндрической опорной обечайки по ГОСТ Р 52857.2-2007

$$\frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 =$$

0.01906

< 1.0

Напряжение в сварном шве, соединяющем корпус аппарата с опорной обечайкой:

$$\frac{1}{\pi D_0 a} \left(\frac{4M}{D_0} + F \right) =$$

1.053

МПа

Допускаемое напряжение сварного шва, соединяющего корпус аппарата с опорной обечайкой:

$$0.8 \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_к \} =$$

150.8

МПа

Условие устойчивости опорной обечайки в зоне отверстий:

$$\frac{F}{\varphi_1 [F]} + \frac{M + F \cdot \varphi_3 \cdot D_0}{\varphi_2 [M]} =$$

0.02238

< 1.0

где:

- коэффициенты φ_1 , φ_2 , φ_3 :

$$\varphi_1 = \frac{A}{\pi D_0 (s_0 - c)} =$$

0.8944

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 16 |

| | | | | | |
|---------------|------------------|------|----------|-------|------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | | | | |
| | Инов. № дубл. | | | | |
| | Взам. инв. № | | | | |
| | Подпись и дата | | | | |
| Инов. № подл. | 19786.4 | | | | |
| | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| | | | | | Лист |
| | | | | | 17 |

| | |
|--|---------------------------|
| $\varphi_2 = \frac{4W}{\pi D_0^2 (s_0 - c)} =$ | 0.7908 |
| $\varphi_3 = \frac{Y_s}{D_0} =$ | 5.249e-15 |
| - площадь наиболее ослабленного поперечного сечения: $A =$ | 2.338e+04 мм ² |
| - наименьший момент сопротивления наиболее ослабленного поперечного сечения: $W =$ | 8.268e+06 мм ³ |
| - координата центра тяжести наиболее ослабленного поперечного сечения: $Y_s =$ | 8.398e-12 мм |

| | | |
|--|--|-------|
| Расчетная толщина нижнего опорного кольца: | $s_1 \geq \max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \sqrt{\frac{\frac{4M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A} + c}; 1.5s_0 \right\} =$ | 12 мм |
|--|--|-------|

| | | |
|------|---|--------|
| где: | $\chi_1 = \frac{\left(1 + 1.81 \left(\frac{b_2}{b_6} \right)^3 \right)^2}{1 + 2.97 \left(\frac{b_2}{b_6} \right)^3} =$ | 0.9901 |
|------|---|--------|

| | | |
|---|--|---------|
| Расчетная ширина нижнего опорного кольца: | $b_1 \geq \frac{\frac{4M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 [\sigma]} =$ | 0.71 мм |
|---|--|---------|

| | | |
|--|---|-------|
| | $\chi_2 = \frac{\sqrt{3 \left(\frac{b_4}{b_5} \right)}}{\sqrt{1 + \frac{\left(\frac{b_4}{b_5} \right)^2}{\left(1 - \frac{d}{b_5} \right)}}} =$ | 1.165 |
|--|---|-------|

| | | |
|---|----------------------|----------|
| Приведенная толщина верхнего опорного кольца с учетом усиливающей пластины: | $s_2 + \chi_3 s_3 =$ | 26.21 мм |
|---|----------------------|----------|

| | | |
|-----------------------|---|----------|
| должна быть не менее: | $\chi_2 \sqrt{\frac{A [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c =$ | 18.28 мм |
|-----------------------|---|----------|

| | | |
|------|---|--------|
| где: | $\chi_3 = \frac{b_7}{b_4} \left(\frac{s_3}{s_7} \right)^2 =$ | 0.1212 |
|------|---|--------|

Расчетная толщина ребра:

$$s_4 \geq \max \left\{ \frac{A_{\sigma} [\sigma]_B}{\chi_4 b_2 [\sigma]_A} + c; 0.4 s_1 \right\} = 8 \text{ мм}$$

где:

$$\chi_4 = 2$$

| | | | |
|---|---|-------|-----|
| Расчетное напряжение в опорной обечайке в зоне приварки верхнего опорного элемента: | $\frac{6\chi_5 A_{\sigma} [\sigma]_{B^e}}{(s_0 - c)^2 h} =$ | 166.8 | МПа |
|---|---|-------|-----|

$$\begin{aligned} \chi_5 = & -0.0248 \left\{ \ln \left(\frac{N}{1100} \right) - \sqrt{\left[\ln \left(\frac{N}{1100} \right) \right]^2 + 2.628} \right\} + \\ & + \left\{ 0, \text{ при } N \leq 10^4 \right. \\ & \left. - 0.002 \ln(10^{-4} N), \text{ при } N > 10^4 \right\} = 0.09411 \\ N = & \frac{D_0}{2(s_0 - c)} \left(\frac{10b_3}{D_0} \right)^{2.05} \end{aligned}$$

| | | | |
|---|-------------------|-----|-----|
| Допускаемое напряжение в опорной обечайке в зоне приварки верхнего опорного элемента: | $1,5[\sigma]_0 =$ | 294 | МПа |
|---|-------------------|-----|-----|

Так как в рассматриваемом случае $M_3 \leq 0.44 F_3 D_6$, диаметр и количество анкерных болтов принимаются конструктивно

$$\frac{0.44 F_3 D_6}{M_3} = 2.863 > 1$$

Опора-юбка отвечает условиям прочности и устойчивости в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51274-99

Расчет в режиме Гидравлических испытаний

Условия нагружения

| | | | |
|--|--------------------|-----------|------|
| Температура опоры в сечении приварки к аппарату | $T_{\text{верхн}}$ | 20 | °C |
| Температура опоры-юбки в нижнем опорном сечении | $T_{\text{нижн}}$ | 20 | °C |
| Температура в сечении наиболее ослабленном отверстиями | $T_{\text{отв}}$ | 20 | °C |
| Осевое сжимающее усилие в сечении приварки к аппарату | $F_{\text{верхн}}$ | 1.205e+05 | H |
| Осевое сжимающее усилие в нижнем опорном сечении | $F_{\text{нижн}}$ | 1.283e+05 | H |
| Осевое сжимающее усилие в сечении наиболее ослабленном отверстиями | $F_{\text{отв}}$ | 1.283e+05 | H |
| Суммарный изгибающий момент в сечении приварки к аппарату | $M_{\text{верхн}}$ | 3.538e+06 | H·мм |
| Суммарный изгибающий момент в нижнем опорном сечении | $M_{\text{нижн}}$ | 6.304e+06 | H·мм |
| Суммарный изгибающий момент в сечении наиболее ослаблен- | $M_{\text{отв}}$ | 6.304e+06 | H·мм |

НОМ ОТВЕРСТИЯМИ

Свойства материала

| | | | |
|--|----------------------|----------|-----|
| Материал корпуса аппарата | 09Г2С | | |
| Допускаемое напряжение для материала корпуса | $[\sigma]_K$ | 272.5 | МПа |
| Материал опоры | 09Г2С | | |
| Допускаемое напряжение для материала опорной обечайки в верхнем сечении | $[\sigma]_0$ | 272.5 | МПа |
| Допускаемое напряжение для материала опорной обечайки в нижнем сечении | $[\sigma]_{0_нижн}$ | 272.5 | МПа |
| Допускаемое напряжение для материала опорной обечайки в наиболее ослабленном сечении | $[\sigma]_{отв}$ | 272.5 | МПа |
| Модуль упругости материала опорной обечайки, прилегающей к корпусу сосуда | E_0 | 1.99e+05 | МПа |
| Материал опорных колец | 09Г2С | | |
| Допускаемое напряжение для материала нижнего опорного кольца | $[\sigma]_A$ | 272.5 | МПа |
| Допускаемые напряжения для материала верхнего опорного кольца | $[\sigma]_{AB}$ | 272.5 | МПа |
| Допускаемые напряжения для материала ребра | $[\sigma]_{Ap}$ | 272.5 | МПа |
| Материал и диаметр анкерных болтов | 09Г2С, Diam = M20 | | |
| Допускаемое напряжение для материала анкерных болтов | $[\sigma]_B$ | 170 | МПа |

Результаты расчета

| | | | |
|--|---|---------|-------|
| Условие устойчивости цилиндрической опорной обечайки по ГОСТ Р 52857.2-2007 | $\frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 =$ | 0.03362 | < 1.0 |
| Напряжение в сварном шве, соединяющем корпус аппарата с опорной обечайкой: | $\frac{1}{\pi D_0 \alpha} \left(\frac{4M}{D_0} + F \right) =$ | 3.217 | МПа |
| Допускаемое напряжение сварного шва, соединяющего корпус аппарата с опорной обечайкой: | $0.8 \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_K \} =$ | 218 | МПа |
| Условие устойчивости опорной обечайки в зоне отверстий: | $\frac{F}{\varphi_1 [F]} + \frac{M + F \cdot \varphi_3 \cdot D_0}{\varphi_2 [M]} =$ | 0.03809 | < 1.0 |
| где: | | | |
| - коэффициенты $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$: | $\varphi_1 = \frac{A}{\pi D_0 (s_0 - c)} =$ | 0.8944 | |

| | | | | | |
|---------------|------------------|------|----------|-------|------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | | | | |
| | Инов. № дубл. | | | | |
| | Взам. инв. № | | | | |
| | Подпись и дата | | | | |
| Инов. № подл. | 19786.4 | | | | |
| | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| | | | | | Лист |
| | | | | | 20 |

| | |
|--|---------------------------|
| $\varphi_2 = \frac{4W}{\pi D_0^2 (s_0 - c)} =$ | 0.7908 |
| $\varphi_3 = \frac{Y_s}{D_0} =$ | 5.249e-15 |
| - площадь наиболее ослабленного поперечного сечения: $A =$ | 2.338e+04 мм ² |
| - наименьший момент сопротивления наиболее ослабленного поперечного сечения: $W =$ | 8.268e+06 мм ³ |
| - координата центра тяжести наиболее ослабленного поперечного сечения: $Y_s =$ | 8.398e-12 мм |

| | | | |
|--|--|----|----|
| Расчетная толщина нижнего опорного кольца: | $s_1 \geq \max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \sqrt{\frac{\frac{4M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A} + c}; 1.5s_0 \right\} =$ | 12 | мм |
|--|--|----|----|

| | | |
|------|---|--------|
| где: | $\chi_1 = \frac{\left(1 + 1.81 \left(\frac{b_2}{b_6} \right)^3 \right)^2}{1 + 2.97 \left(\frac{b_2}{b_6} \right)^3} =$ | 0.9901 |
|------|---|--------|

| | | | |
|---|--|------|----|
| Расчетная ширина нижнего опорного кольца: | $b_1 \geq \frac{\frac{4M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 [\sigma]} =$ | 1.72 | мм |
|---|--|------|----|

| | | |
|--|---|-------|
| | $\chi_2 = \frac{\sqrt{3 \left(\frac{b_4}{b_5} \right)}}{\sqrt{1 + \frac{\left(\frac{b_4}{b_5} \right)^2}{\left(1 - \frac{d}{b_5} \right)}}} =$ | 1.165 |
|--|---|-------|

| | | | |
|---|----------------------|-------|----|
| Приведенная толщина верхнего опорного кольца с учетом усиливающей пластины: | $s_2 + \chi_3 s_3 =$ | 26.21 | мм |
|---|----------------------|-------|----|

| | | | |
|-----------------------|---|-------|----|
| должна быть не менее: | $\chi_2 \sqrt{\frac{A [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c =$ | 15.81 | мм |
|-----------------------|---|-------|----|

| | | |
|------|---|--------|
| где: | $\chi_3 = \frac{b_7}{b_4} \left(\frac{s_3}{s_7} \right)^2 =$ | 0.1212 |
|------|---|--------|

| | | | |
|---|--|---------|-----|
| Расчетная толщина ребра: | $s_4 \geq \max \left\{ \frac{A_{\sigma} [\sigma]_B}{\chi_4 b_2 [\sigma]_A} + c; 0.4 s_1 \right\} =$ | 8 | мм |
| где: | $\chi_4 =$ | 2 | |
| Расчетное напряжение в опорной обечайке в зоне приварки верхнего опорного элемента: | $\frac{6 \chi_5 A_{\sigma} [\sigma]_B e}{(s_0 - c)^2 h} =$ | 166.8 | МПа |
| где: | $\chi_5 = -0.0248 \left\{ \ln \left(\frac{N}{1100} \right) - \sqrt{\left[\ln \left(\frac{N}{1100} \right) \right]^2 + 2.628} \right\} +$ $+ \left\{ 0, \text{ при } N \leq 10^4 \right.$ $\left. - 0.002 \ln(10^{-4} N), \text{ при } N > 10^4 \right\} =$ $N = \frac{D_0}{2(s_0 - c)} \left(\frac{10 b_3}{D_0} \right)^{2.05}$ | 0.09411 | |
| Допускаемое напряжение в опорной обечайке в зоне приварки верхнего опорного элемента: | $1.5 [\sigma]_0 =$ | 408.8 | МПа |

Опора-юбка отвечает условиям прочности и устойчивости в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51274-99

Расчет в режиме Монтажа

Условия нагружения

| | | | |
|--|--------------------|-----------|------|
| Температура опоры в сечении приварки к аппарату | $T_{\text{верхн}}$ | 20 | °С |
| Температура опоры-юбки в нижнем опорном сечении | $T_{\text{нижн}}$ | 20 | °С |
| Температура в сечении наиболее ослабленном отверстиями | $T_{\text{отв}}$ | 20 | °С |
| Осевое сжимающее усилие в сечении приварки к аппарату | $F_{\text{верхн}}$ | 2.164e+04 | Н |
| Осевое сжимающее усилие в нижнем опорном сечении | $F_{\text{нижн}}$ | 2.943e+04 | Н |
| Осевое сжимающее усилие в сечении наиболее ослабленном отверстиями | $F_{\text{отв}}$ | 2.943e+04 | Н |
| Суммарный изгибающий момент в сечении приварки к аппарату | $M_{\text{верхн}}$ | 5.608e+06 | Н·мм |
| Суммарный изгибающий момент в нижнем опорном сечении | $M_{\text{нижн}}$ | 1.001e+07 | Н·мм |
| Суммарный изгибающий момент в сечении наиболее ослабленном отверстиями | $M_{\text{отв}}$ | 1.001e+07 | Н·мм |

Свойства материала

Материал корпуса аппарата 09Г2С

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 21 |

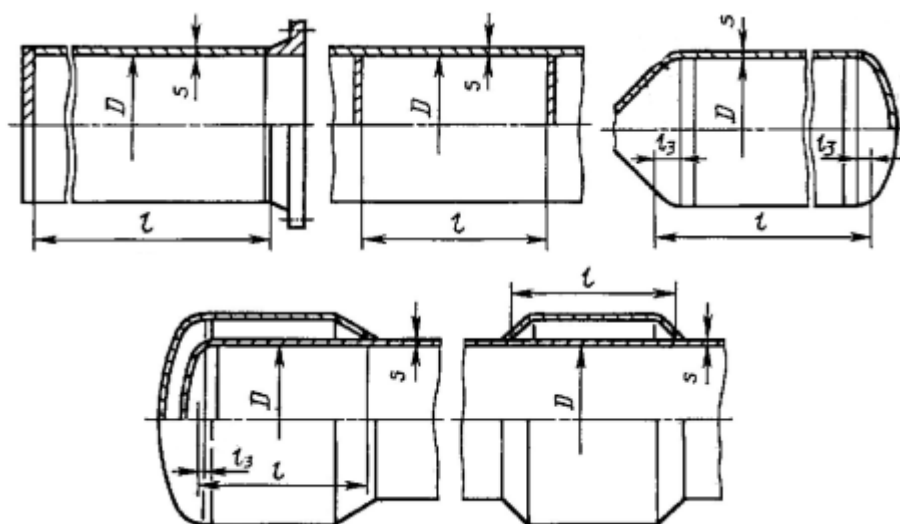
Цилиндрическая обечайка

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2-2007

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Гладкая цилиндрическая обечайка, работающая под действием

- внутреннего давления
- осевой сжимающей силы
- изгибающего момента



Примечание - Рисунки не определяют конструкцию и приведены только для указания расчетных размеров

Исходные данные

| | | | |
|--|-----------------|-----------|----|
| Материал обечайки | 09Г2С | | |
| Внутренний диаметр обечайки | D | 1600 | мм |
| Толщина стенки обечайки | S | 10 | мм |
| Прибавка для компенсации коррозии и эрозии | C ₁ | 2 | мм |
| Прибавка для компенсации минусового допуска | C ₂ | 0.8 | мм |
| Прибавка технологическая | C ₃ | 0 | мм |
| Коэффициент прочности продольного сварного шва | φ _р | 0.9 | |
| Фактическая длина обечайки | L _а | 4400 | мм |
| Расчетная длина обечайки | L | 4747 | мм |
| Приведенная расчетная длина * | L _{пр} | 1.315e+04 | мм |

* - При отсутствии полных данных по внешним нагрузкам, действующим на колонный аппарат, величина L_{пр} принимается в сторону запаса с максимальным коэффициентом расчетной длины = 2,0.

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 23 |

Расчет в режиме Рабочих условий

Условия нагружения

| | | | |
|-----------------------------|---|-----------|------|
| Расчетная температура | T | 50 | °C |
| Расчетное давление | P | 0.8 | МПа |
| Расчетное осевое усилие | F | 1.939e+04 | Н |
| Расчетный изгибающий момент | M | 5.246e+06 | Н·мм |
| Расчетное поперечное усилие | Q | 2015 | Н |

Свойства материала

| | | | |
|-----------------------------|-------|----------|-----|
| Материал обечайки | 09Г2С | | |
| Допускаемое напряжение | [σ] | 188.5 | МПа |
| Модуль продольной упругости | E | 1.96e+05 | МПа |

Результаты расчета

| | | | |
|---|---|-----------|-----|
| Расчетная толщина стенки обечайки от действия давления: | $S_p = \frac{pD}{2[\sigma]\phi_p - p} =$ | 3.781 | мм |
| Расчетная толщина стенки обечайки от действия давления с учетом прибавки: | $S \geq S_p + C =$ | 6.581 | мм |
| Допускаемое внутреннее давление: | $[p] = \frac{2[\sigma]\phi_p(S - C)}{D + (S - C)} =$ | 1.52 | МПа |
| Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости в пределах упругости: | $[F]_{E1} = \frac{31 \cdot 10^{-5} E}{n_y} D^2 \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^{2.5} =$ | 8.804e+06 | Н |
| Допускаемое осевое усилие из условия устойчивости в пределах упругости: | $[F]_E = \text{Min} \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} =$ | 8.804e+06 | Н |
| Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности: | $[F]_{\pi} = \pi(D + S - C)(S - C)[\sigma] =$ | 6.853e+06 | Н |
| Допускаемое осевое сжимающее усилие: | $[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_E} \right)^2}} =$ | 5.408e+06 | Н |

| | | | | | | |
|------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изн. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | Лист |
| Изн. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | 24 |

Допускаемый изгибающий момент из условий устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_{\text{E}} = \frac{89 \cdot 10^{-6} E}{n_y} D^3 \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5} = 4.025\text{e}+09 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$[M]_{\text{P}} = \frac{\pi D(D + S - C)(S - C)[\sigma]}{4} = 2.741\text{e}+09 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\text{P}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{P}}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 2.266\text{e}+09 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[Q]_{\text{E}} = \frac{2.4E(S - C)^2}{n_y} \left[0.18 + 3.3 \frac{D(S - C)}{L^2} \right] = 1.846\text{e}+06 \quad \text{Н}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$$[Q]_{\text{P}} = \frac{\pi D(S - C)[\sigma]}{4} = 1.706\text{e}+06 \quad \text{Н}$$

Допускаемое перерезывающее усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{P}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{P}}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 1.253\text{e}+06 \quad \text{Н}$$

Условие устойчивости (п.5.3.7 ГОСТ Р 52857.2-2007)

$$\frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0.005904 < 1$$

Обечайка отвечает условиям прочности и устойчивости в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2-2007

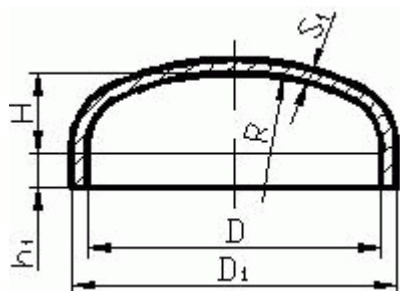
| | | | | | | | |
|--------------|---------|----------------|--|--------------|--------------|----------------|--|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Днище эллиптическое

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2-2007

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Эллиптическое днище, работающее под действием внутреннего давления



Примечание - Рисунок не определяет конструкцию и приведен только для указания расчетных размеров

Исходные данные

| | |
|--|-----------------------|
| Материал днища | 09Г2С |
| Внутренний диаметр днища | D 1600 мм |
| Высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части | H 400 мм |
| Исполнительная толщина стенки днища | s ₁ 10 мм |
| Прибавка для компенсации коррозии и эрозии | c ₁ 2 мм |
| Прибавка для компенсации минусового допуска | c ₂ 0.8 мм |
| Прибавка технологическая | c ₃ 1.5 мм |
| Коэффициент прочности сварного шва | φ 0.9 - |
| Длина цилиндрической отбортовки | h ₁ 40 мм |

Расчет в режиме Рабочих условий

Условия нагружения

| | |
|-----------------------|-----------|
| Расчетная температура | T 50 °С |
| Расчетное давление | p 0.8 МПа |

Свойства материала

| | |
|------------------------|---------------|
| Материал днища | 09Г2С |
| Допускаемое напряжение | [σ] 188.5 МПа |

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 26 |

Результаты расчета

| | | | |
|--|--|-------|-----|
| Радиус кривизны в вершине эллиптического или полусферического днища: | $R = \frac{D^2}{4H} =$ | 1600 | мм |
| Сумма прибавок к расчетной толщине стенки: | $c=c_1+c_2+c_3=$ | 4.3 | мм |
| Расчетная толщина стенки эллиптического или полусферического днища от действия внутреннего давления: | $s_{1p} = \frac{pR}{2\varphi[\sigma] - 0,5p} =$ | 3.777 | мм |
| Расчетная толщина стенки днища от действия давления с учетом прибавки: | $s_{1p}+c =$ | 8.077 | мм |
| Допускаемое внутреннее давление для эллиптического или полусферического днища: | $[p] = \frac{2(s_1 - c)\varphi[\sigma]}{R + 0,5(s_1 - c)} =$ | 1.207 | МПа |

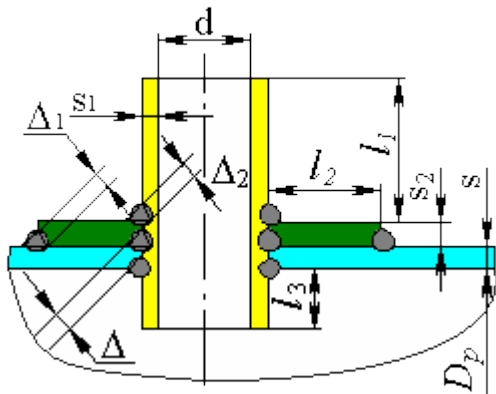
Днище отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2-2007

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 27 |

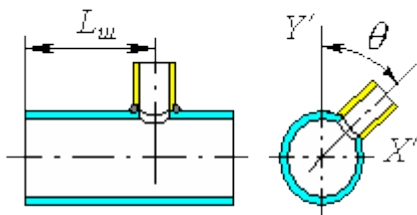
Штуцер МН DN600

Исходные данные

Элемент: Штуцер МН DN600
Условное обозначение (метка) Штуцер МН
Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая
Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая
Тип штуцера: Проходящий с накладным кольцом



Материал несущего элемента: 09Г2С
Толщина стенки несущего элемента, s: 10 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 2,8 мм
Материал штуцера: 09Г2С
Внутренний диаметр штуцера, d: 600 мм
Толщина стенки штуцера, s₁: 10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c_s: 2,8 мм
Длина штуцера, l₁: 172 мм



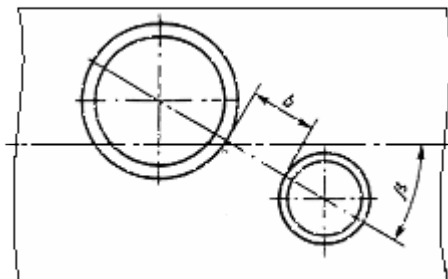
Смещение штуцера, L_ш: 700 мм
Угол поворота штуцера, θ: 0 °
Длина внутр. части штуцера, l₃: 0 мм
Прибавка на коррозию, c_{s1}: 0 мм
Материал кольца: 09Г2С

| | | | | |
|------------------|---------------|---------------|----------------|------|
| Изнв. № подл. | Изнв. № дубл. | Взам. изнв. № | Подпись и дата | |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 28 |

| | |
|--|--------|
| Материал штуцера: | 09Г2С |
| Внутренний диаметр штуцера, d: | 600 мм |
| Толщина стенки штуцера, s ₁ : | 10 мм |
| Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c _s : | 2,8 мм |
| Длина штуцера, l ₁ : | 172 мм |

| | |
|--|--------|
| Смещение штуцера, L _ш : | 700 мм |
| Угол поворота штуцера, θ: | 0 ° |
| Длина внутр. части штуцера, l ₃ : | 0 мм |
| Прибавка на коррозию, c _{s1} : | 0 мм |
| Материал кольца: | 09Г2С |

Ширина кольца, l_2 : 200 мм
 Толщина кольца, s_2 : 8 мм
 Расчётные параметры размещения штуцера:
 Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер PI DN50
 Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b : 1590 мм
 Угол β : 62,36 °
 Коэффициенты прочности сварных швов:
 Продольный шов штуцера:
 $\varphi_1 = 0,9$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:
 $\varphi = 0,9$
 Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:
 $D_p = D = 1600$ мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T : 50 °C
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p : 0,8 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 50$ °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 188,5$ МПа

Модуль продольной упругости при температуре 50 °C:

$E = 1,96 \cdot 10^5$ МПа

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 50$ °C (рабочие условия):

$[\sigma]_1 = 188,5$ МПа

Модуль продольной упругости при температуре 50 °C:

$E_1 = 1,96 \cdot 10^5$ МПа

Свойства материала кольца

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 50$ °C (рабочие условия):

$[\sigma]_2 = 188,5$ МПа

| | | | |
|------------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. |
| | | | Дата |
| Е-4.00.00.000 РР | | | Лист |
| | | | 29 |

Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:

$$E_2 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{\text{ш}} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 0,8 * (600 + 2 * 2,8) / (2 * 188,5 * 0,9 - 0,8) = 1,431 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 * 188,5 * 0,9 * (10 - 2,8) / (600 + 10 + 2,8) = 3,987 \text{ МПа}$$

$$3,987 \text{ МПа} \geq 0,8 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 1600 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 3,781 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 600 + 2 * 2,8 = 605,6 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 * ((10 - 2,8) / 3,781 - 0,8) * (1600 * (10 - 2,8))^{1/2} = 237 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 172; 1,25 * ((600 + 2 * 2,8) * (10 - 2,8))^{1/2} \} = 82,54 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

- для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0, 188,5 / 188,5 \} = 1$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое (нижнее)):

$$L_k = 430 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (1600 * (10 - 2,8))^{1/2} = 107,3 \text{ мм}$$

Расчётная ширина кольца:

$$l_{2p} = \min \left\{ l_2; \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right\} = \min \{ 200; (1600 * (8 + 10 - 2,8))^{1/2} \} = 155,9 \text{ мм}$$

- для накладного кольца:

$$\chi_2 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0, 188,5 / 188,5 \} = 1$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 * ((600 + 2 * 2,8) * (10 - 2,8 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 107,3 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 * (1600 * (10 - 2,8))^{1/2} = 42,93 \text{ мм}$$

| | | | | |
|------------------|--------------|---------------|----------------|------|
| Инов. № подл. | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата | |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 30 |

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{1_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{1_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{1_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{1_{1p}}{1_p}} \right\}$$

$$= \min \{1; [1 + (82,54 \cdot (10 - 2,8) \cdot 1 + 155,9 \cdot 8 \cdot 1 + 0 \cdot (10 - 2,8 - 0) \cdot 1) / (107,3 \cdot (10 - 2,8))] / [1 + 0.5 \cdot (605,6 - 42,93) / 107,3 + 1 \cdot (600 + 2 \cdot 2,8) / 1600 \cdot 0,9 / 0,9 \cdot 82,54 / 107,3] = 0,8648\}$$

$$= 0,8648$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (10 - 2,8) \cdot 0,9 \cdot 188,5 \cdot 0,8648 / [1600 + (10 - 2,8) \cdot 0,8648] = 1,315 \text{ МПа}$$

Условие взаимного влияния штуцеров

Если расстояние между наружными поверхностями ближайших штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)} = (1600 \cdot (10 - 2,8))^{1/2} + (1600 \cdot (10 - 2,8))^{1/2} = 214,7 \text{ мм}$$

Условие выполнено - Отверстие считается одиночным

Допускаемое давление $[p] = 1,315 \text{ МПа}$

$$1,315 \text{ МПа} \geq 0,8 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (605,6 - 42,93) \cdot 3,781 = 0,001064 \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = 1_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c)$$

$$= 82,54 \cdot (10 - 1,431 - 2,8) \cdot 1 + 155,9 \cdot 8 \cdot 1 + 0 \cdot (10 - 2,8 - 0) \cdot 1 + 107,3 \cdot (10 - 3,781 - 2,8)$$

$$= 0,002091 \text{ м}^2$$

$$A_r = 0,001064 \text{ м}^2 \leq 0,002091 \text{ м}^2$$

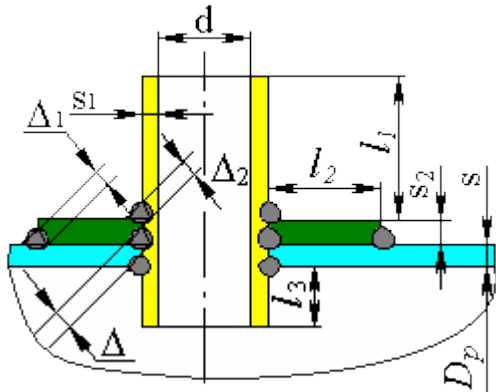
Заключение: **Условие прочности выполнено**

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| Лист | | | | |
| 31 | | | | |

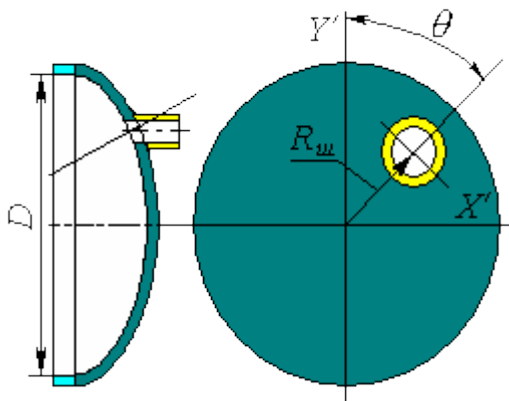
Штуцер I1, O1 DN50

Исходные данные

Элемент: Штуцер I1, O1 DN50
Условное обозначение (метка) Штуцер I1
Элемент, несущий штуцер: Днище эллиптическое (нижнее)
Тип элемента, несущего штуцер: Днище эллиптическое
Тип штуцера: Проходящий с накладным кольцом



Материал несущего элемента: 09Г2С
Толщина стенки несущего элемента, s: 10 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с: 4,3 мм
Материал штуцера: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Внутренний диаметр штуцера, d: 47 мм
Толщина стенки штуцера, s₁: 5 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), с_s: 2,63 мм
Длина штуцера, l₁: 120 мм



Смещение штуцера, R_ш: 500 мм
Угол поворота штуцера, θ: 90 °
Полученный угол наклона штуцера, γ: (-21,66) °
Длина внутр. части штуцера, l₃: 0 мм

Подпись и дата

Инов. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инов. № подл.

19786.4

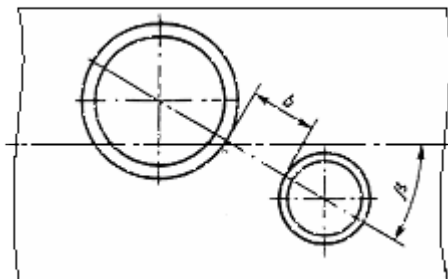
| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

Е-4.00.00.000 РР

Лист

32

Прибавка на коррозию, c_{s1} : 0 мм
 Материал кольца: 09Г2С
 Ширина кольца, l_2 : 80 мм
 Толщина кольца, s_2 : 8 мм
 Расчётные параметры размещения штуцера:
 Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер D DN25

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b : 460,9 мм

Угол β : 0 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$\phi_1 = 0,9$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$\phi = 0,9$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_F = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 1600^2 / (2 \cdot 400) \cdot (1 - 4 \cdot (1600^2 - 4 \cdot 400^2) \cdot 500^2 / 1600^4)^{1/2} = 2691 \text{ мм}$$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T : 50 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, p : 0,8039 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 50$ °С (рабочие условия):

$[\sigma] = 188,5$ МПа

Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:

$E = 1,96 \cdot 10^5$ МПа

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 50$ °С (рабочие условия):

$[\sigma]_1 = 174$ МПа

Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:

$E_1 = 1,96 \cdot 10^5$ МПа

| | | | |
|------------------|----------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. |
| | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | |
| Лист | | | |
| 33 | | | |

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

19786.4

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

E-4.00.00.000 PP

Лист

34

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

Т.к. $d_p < d_0$ - Расчет укрепления одиночного отверстия от действия внутреннего избыточного давления проводить не требуется

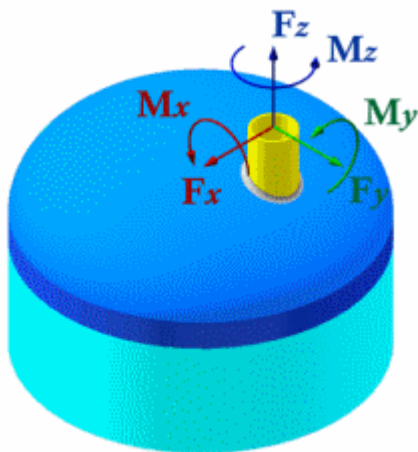
Если расстояние между наружными поверхностями ближайших штуцеров удовлетворяет условию:

Условие выполнено - Отверстие считается одиночным

Условия нагружения:

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,8 МПа

Нагрузки на штуцер (в системе координат аппарата):



| $F_x, \text{ Н}$ | $F_y, \text{ Н}$ | $F_z, \text{ Н}$ | $M_x, \text{ Н м}$ | $M_y, \text{ Н м}$ | $M_z, \text{ Н м}$ |
|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 900 | 900 | 1200 | 200 | 200 | 300 |

Допускаемые напряжения в соответствии с ГОСТ Р 52857.1-2007

Уровень разбивки - 1

Коэффициент запаса, учитывающий уровень разбивки: $K_m = 1,3$

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Номинальные допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 50 °С:

$$[s] = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 188,5 / 1,3 = 145 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:

$$E = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Номинальные допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре 50 °С:

$$[s]_1 = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 174 / 1,3 = 133,8 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:

$$E_1 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала кольца

Номинальные допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 50 °С:

$$[s]_2 = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 188,5 / 1,3 = 145 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:

$$E_2 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 35 |

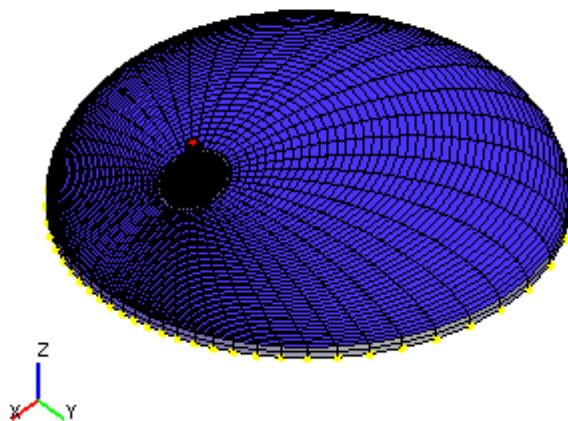


Рис. 1. Конечно-элементная модель узла врезки

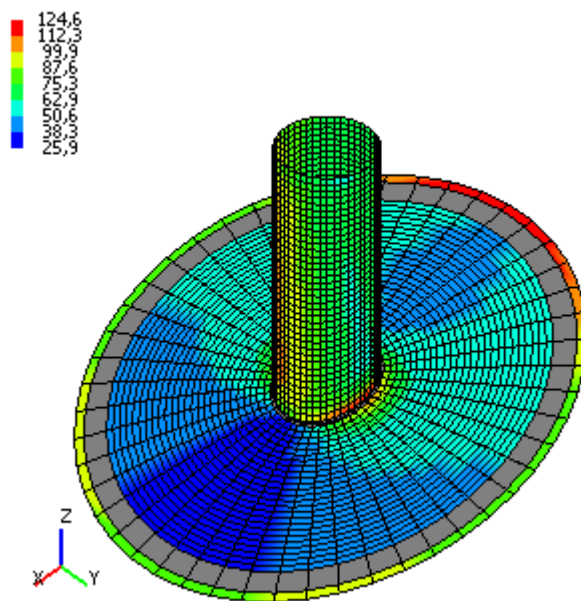


Рис. 2. Эквивалентные мембранные напряжения от совместного действия сил и давления, МПа.
Заключение:

Для несущего элемента $\sigma_{\text{мл макс}} = 146,3 \text{ МПа} \leq 1,5[s] = 217,8 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера $\sigma_{\text{мл макс}} = 124,6 \text{ МПа} \leq 1,5[s]_1 = 201,6 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

| | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------------|------|----------|-------|------|------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата | Е-4.00.00.000 РР | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 36 |
| 19786.4 | | | | | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | |

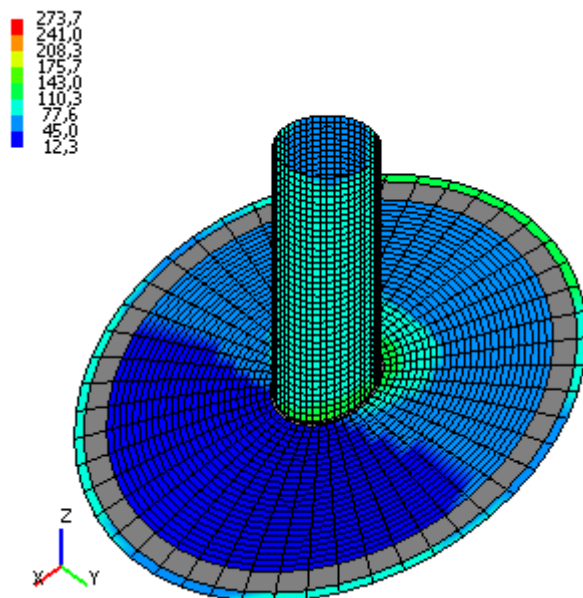


Рис. 3. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внешней поверхности, МПа.

Заключение:

Для несущего элемента $\sigma_{mb \max} = 137,1 \text{ МПа} \leq 3[s] = 435,7 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера $\sigma_{mb \max} = 273,7 \text{ МПа} \leq 3[s]_1 = 403,2 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

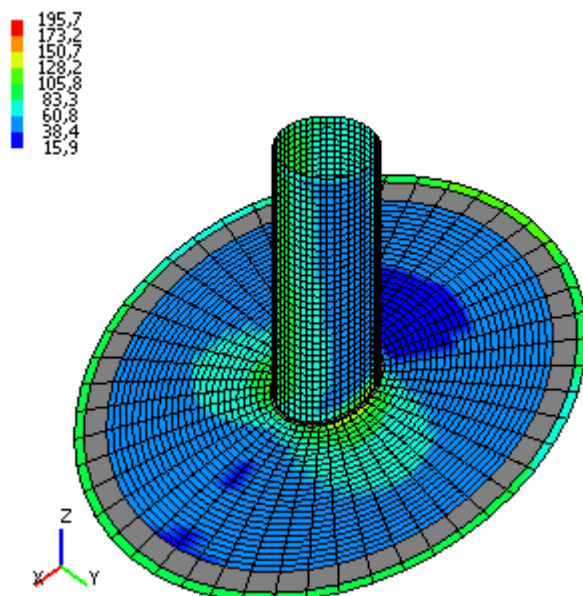


Рис. 4. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внутренней поверхности, МПа.

Заключение:

Для несущего элемента $\sigma_{mb \max} = 178,7 \text{ МПа} \leq 3[s] = 435,7 \text{ МПа}$.

| | | | |
|------------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. |
| | | | Дата |
| Е-4.00.00.000 РР | | | |
| Лист 37 | | | |

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера $\sigma_{\text{mb max}} = 195,7 \text{ МПа} \leq 3[s]_1 = 403,2 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

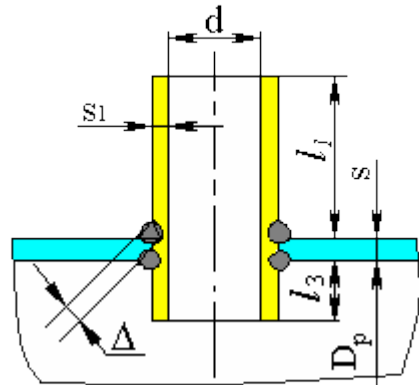
Общее заключение: **Условия прочности выполнены.**

| | | | | | | | |
|--------------|----------------|----------|-------|------|------------------|--------------|----------------|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | | | | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 19786.4 | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | Лист | | |
| | | | | | 38 | | |

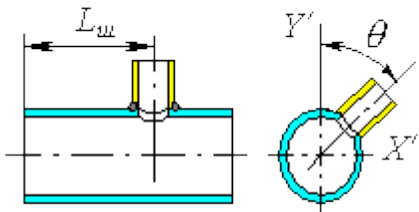
Штуцер PSV DN80

Исходные данные

Элемент: Штуцер PSV DN80
Условное обозначение (метка) Штуцер PSV
Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая
Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая
Тип штуцера: Проходящий без укрепления



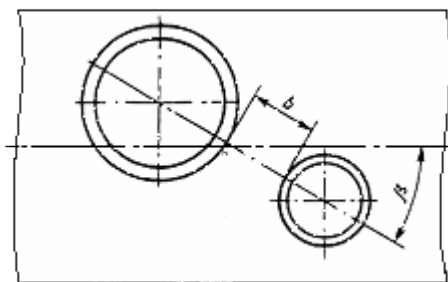
Материал несущего элемента: 09Г2С
Толщина стенки несущего элемента, s : 10 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c : 2,8 мм
Материал штуцера: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Внутренний диаметр штуцера, d : 77 мм
Толщина стенки штуцера, s_1 : 6 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c_s : 2,75 мм
Длина штуцера, l_1 : 125 мм



Смещение штуцера, $L_{ш}$: 1000 мм
Угол поворота штуцера, ϑ : 180 °
Длина внутр. части штуцера, l_3 : 0 мм
Прибавка на коррозию, c_{s1} : 0 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 39 |

Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер PI DN50

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 563,1 мм

Угол β : 90 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$\varphi_1 = 0,9$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$\varphi = 0,9$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$D_p = D = 1600 \text{ мм}$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 50 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,8 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 50 °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 188,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 50 °C:

$E = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 50 °C (рабочие условия):

$[\sigma]_1 = 174 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 50 °C:

$E_1 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{\Phi} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 0,8 \cdot (77 + 2 \cdot 2,75) / (2 \cdot 174 \cdot 0,9 - 0,8) = 0,2113 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 174 \cdot 0,9 \cdot (6 - 2,75) / (77 + 6 + 2,75) = 11,87 \text{ МПа}$$

$11,87 \text{ МПа} \geq 0,8 \text{ МПа}$

Подпись и дата

Инов. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инов. № подл.

19786.4

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

Е-4.00.00.000 РР

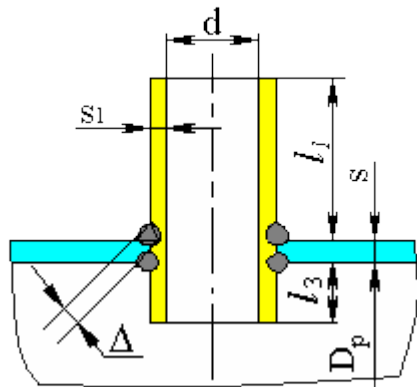
Лист

40

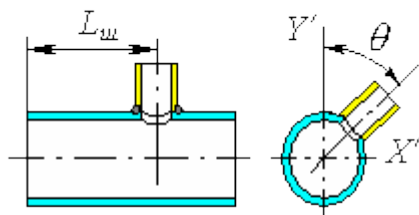
Штуцер PI DN50

Исходные данные

Элемент: Штуцер PI DN50
Условное обозначение (метка) Штуцер PI
Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая
Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая
Тип штуцера: Проходящий без укрепления



Материал несущего элемента: 09Г2С
Толщина стенки несущего элемента, s: 10 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с: 2,8 мм
Материал штуцера: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Внутренний диаметр штуцера, d: 47 мм
Толщина стенки штуцера, s₁: 5 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), с_s: 2,63 мм
Длина штуцера, l₁: 132 мм



Смещение штуцера, L_ш: 1000 мм
Угол поворота штуцера, θ: 225 °
Длина внутр. части штуцера, l₃: 0 мм
Прибавка на коррозию, с_{s1}: 0 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 42 |

Штуцер PSV DN80

563,1 MM

90 °

Продольный шов штуцера:

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 1600 \text{ mm}$$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

50 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,8 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штицер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma] = 188,5 \text{ MPa}$$

Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:

$$E = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 174 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 50 °C:

$$E_1 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штупера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma_b \cdot \varphi_1 - p]} = 0,8 \cdot (47 + 2 \cdot 2,63) / (2 \cdot 174 \cdot 0,9 - 0,8) = 0,1338 \text{ mm}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_c} = 2 \cdot 174 \cdot 0,9 \cdot (5 - 2,63) / (47 + 5 + 2,63) = 13,59 \text{ МПа}$$

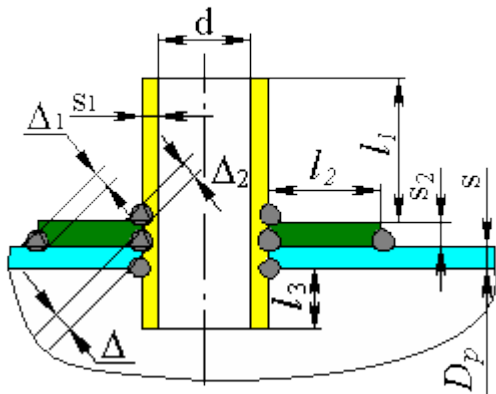
$$13,59 \text{ МПа} \geq 0,8 \text{ МПа}$$

| | | | | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|---|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Расчётная температура, Т: 50 °С |
| | | | | | Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,8 МПа |
| 19786.4 | | | | | Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007 |
| | | | | | <p><i>Свойства материала элемента, несущего штуцер</i></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре Т = 50 °С (рабочие условия):</p> <p>$[\sigma] = 188,5 \text{ МПа}$</p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:</p> <p>$E = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p> |
| | | | | | <p><i>Свойства материала штуцера</i></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре Т = 50 °С (рабочие условия):</p> <p>$[\sigma]_1 = 174 \text{ МПа}$</p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:</p> <p>$E_1 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p> <p>Расчётная толщина стенки штуцера:</p> $s_{\Phi} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} = 0,8 \cdot (47 + 2 \cdot 2,63) / (2 \cdot 174 \cdot 0,9 - 0,8) = 0,1338 \text{ мм}$ <p>Допускаемое давление для патрубка штуцера:</p> $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 174 \cdot 0,9 \cdot (5 - 2,63) / (47 + 5 + 2,63) = 13,59 \text{ МПа}$ <p>13,59 МПа ≥ 0,8 МПа</p> |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <div>E-4.00.00.000 PP</div> <div>43</div> |

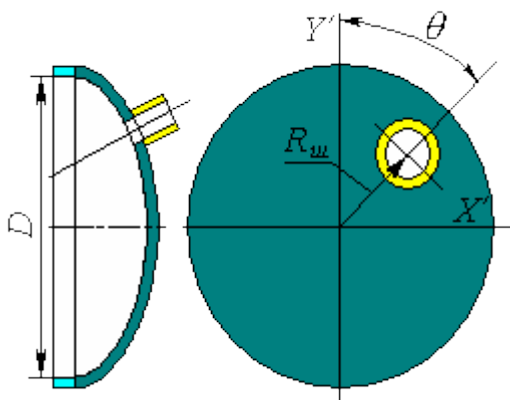
Штуцер D DN25

Исходные данные

| | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Элемент: | Штуцер D DN25 |
| Условное обозначение (метка) | Штуцер D |
| Элемент, несущий штуцер: | Днище эллиптическое (нижнее) |
| Тип элемента, несущего штуцер: | Днище эллиптическое |
| Тип штуцера: | Проходящий с накладным кольцом |



| | |
|---|---------------------|
| Материал несущего элемента: | 09Г2С |
| Толщина стенки несущего элемента, s: | 10 мм |
| Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с: | 4,3 мм |
| Материал штуцера: | 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 |
| Внутренний диаметр штуцера, d: | 26 мм |
| Толщина стенки штуцера, s1: | 6 мм |
| Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs: | 2,75 мм |
| Длина штуцера, l1: | 32 мм |



| | |
|---------------------------------|------|
| Смещение штуцера, Rш: | 0 мм |
| Угол поворота штуцера, θ: | 0 ° |
| Длина внутр. части штуцера, l3: | 0 мм |
| Прибавка на коррозию, сs1: | 0 мм |

Подпись и дата

Инов. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инов. № подл.

19786.4

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

Е-4.00.00.000 РР

Лист

45

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ur}^2} = 1600^2 / (2 \cdot 400) \cdot (1 - 4 \cdot (1600^2 - 4 \cdot 400^2) \cdot 0^2 / 1600^4)^{1/2} = 3200 \text{ mm}$$

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,8038 МПа

$$E = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$
$$E_1 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

ИНВ. № ПОДЛ.

19786.4

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

E-4.00.00.000 PP

47

47

47

47

47

47

47

47

47

47

47

47

47

47

47

47

47



47

47

Продольный момент, M_2 : 200 Н м

Крутящий момент, M_T : 300 Н м

Сдвиговая нагрузка, F_1 : 900 Н

Сдвиговая нагрузка, F_2 : 900 Н

Средний радиус обечайки у отверстия:

$$R_c = \frac{D^2}{4 \cdot H} + \frac{s + s_2}{2} = 1600^2 / (4 \cdot 400) + (10 + 8) / 2 = 1609 \text{ мм}$$

Средний диаметр обечайки у отверстия:

$$D_c = D_p + s + c + s_2 = 3200 + 10 + 4,3 + 8 = 3222 \text{ мм}$$

Эквивалентная толщина обечайки около штуцера при $l_2 < \sqrt{R_c \cdot (s + s_2)}$:

$$s_3 = s + \min \left\{ s_2 \cdot \frac{l_2}{\sqrt{D_c \cdot (s + s_2)}}; s_2 \right\} \cdot \chi_2 - c = 10 + \min \{ 8 \cdot 60 / (3222 \cdot (10 + 8))^{1/2}; 8 \} \cdot 1 - 4,3 = 7,693 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера:

$$d_c = d + s_1 + c_s = 26 + 6 + 2,75 = 34,75 \text{ мм}$$

$$\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot s_3}} = 34,75 / (1609 \cdot 7,693)^{1/2} = 0,3123$$

Расстояние от края штуцера до возможного концентратора напряжений:

$$b_p = 320,9 \text{ мм}$$

Прочность от действия давления:

$$\Phi_P = \left| \frac{p}{[p]} \right| = |0,8038 / 1,341| = 0,5995$$

Условие прочности: $\Phi_P \leq 1$

0,5995 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер:

$$F_z = -F_R = -(-1200) = 1200 \text{ Н}$$

$$\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)}} = 34,75 / (1609 \cdot (10 + 1 \cdot 8 - 4,3))^{1/2} = 0,2341$$

$$K_4 = \min \left(\frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot (s_1 - c_s)}{[\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)} \cdot \sqrt{\frac{s_1 - c_s}{d_c}}; 1 \right) = \min(2 \cdot 174 \cdot (6 - 2,75) / (188,5 \cdot (10 + 1 \cdot 8 - 4,3)) \cdot ((6 - 2,75) / 34,75)^{1/2}; 1) = 0,1339$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой ($\lambda_s = 0,2341$, $K = 0,1339$)

$$[F_{z1}] = [\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \left(1,82 + 2,4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot K_4 \cdot \lambda_s^2 \right) = 188,5 \cdot (10 + 1 \cdot 8 - 4,3)^2 \cdot (1,82 + 2,4 \cdot (1 + 0,1339)^{1/2} \cdot 0,2341 + 0,91 \cdot 0,1339 \cdot 0,2341^2) = 8,579 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Наружный диаметр накладного кольца:

$$D_2 = d + 2 \cdot s_1 + 2 \cdot l_2 = 26 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 60 = 158 \text{ мм}$$

$$\lambda_s = \frac{D_2}{\sqrt{R_c \cdot (s - c)}} = 158 / (1609 \cdot (10 - 4,3))^{1/2} = 1,65$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер из условия прочности у внешней кромки накладного кольца ($\lambda_s = 1,65$):

$$[F_{z2}] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1,82 + 2,4 \cdot \sqrt{1 + 1} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot \lambda_s^2 \right) = 188,5 \cdot (10 - 4,3)^2 \cdot (1,82 + 2,4 \cdot (1 + 1)^{1/2} \cdot 1,65 + 0,91 \cdot 1,65^2) = 6,061 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при наличии накладного кольца:

$$[F_z] = \min \{ [F_{z1}]; [F_{z2}] \} = \min \{ 8,579 \cdot 10^4; 6,061 \cdot 10^4 \} = 6,061 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 48 |

Прочность от действия осевой нагрузки:

$$\Phi_z = \frac{F_z}{[F_z]} = |1200 / 6,061 \cdot 10^4| = 0,01980$$

Условие прочности: $\Phi_z \leq 1$

0,01980 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_b = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = (200^2 + 200^2)^{1/2} = 282,8 \text{ Н м}$$

$$K_4 = \min \left(\frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot (s_1 - c_s)}{[\sigma] \cdot s_s}, \sqrt{\frac{s_1 - c_s}{d_c}}, 1 \right) = \min(2 \cdot 174 \cdot (6 - 2,75) / (188,5 \cdot 7,693) \cdot ((6 - 2,75) / 34,75)^{1/2}; 1) = 0,2385$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой ($\lambda_s = 0,3123$, $K = 0,2385$):

$$[M_{b1}] = [\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \left(4,9 + 2,0 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot K_4 \cdot \lambda_s^2 \right) = 188,5 \cdot (10 + 1 \cdot 8 - 4,3)^2 \cdot 34,75 / 4 \cdot (4,9 + 2,0 \cdot (1 + 0,2385)^{1/2} \cdot 0,3123 + 0,91 \cdot 0,2385 \cdot 0,3123^2) = 1726 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца ($\lambda_s = 1,65$):

$$[M_{b2}] = [\sigma] \cdot (s - c)^3 \cdot \frac{D_2}{4} \cdot \left(4,9 + 2,0 \cdot \sqrt{1 + 1} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot \lambda_s^2 \right) = 188,5 \cdot (10 - 4,3)^2 \cdot 158 / 4 \cdot (4,9 + 2,0 \cdot (1 + 1)^{1/2} \cdot 1,65 + 0,91 \cdot 1,65^2) = 2913 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент при наличии накладного кольца:

$$[M_b] = \min \{ [M_{b1}; M_{b2}] \} = \min \{ 1726; 2913 \} = 1726 \text{ Н м}$$

Прочность от действия изгибающих моментов:

$$\Phi_b = \frac{M_b}{[M_b]} = |282,8 / 1726| = 0,1638$$

Условие прочности: $\Phi_b \leq 1$

0,1638 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Прочность от совместного действия нагрузок:

$$\max \left(|\Phi_p + \Phi_z|, |\Phi_z|, |\Phi_p - 0,2 \cdot \Phi_z| \right) + \Phi_b = \max \{ |0,5995 + 0,01980|; |0,01980|; |0,5995 - 0,2 \cdot 0,01980| \} + 0,1638 = 0,7832$$

Если $F_z < 0$, то знак Φ_z меняется на противоположный.

$$\text{Условие прочности: } \max \left(|\Phi_p + \Phi_z|, |\Phi_z|, |\Phi_p - 0,2 \cdot \Phi_z| \right) + \Phi_b \leq 1$$

0,7832 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c_s)} = 0,8038 \cdot (26 + 6) / (4 \cdot (6 - 2,75)) + 4 \cdot 282,8 / (3,142 \cdot (26 + 6)^2 \cdot (6 - 2,75)) + 1200 / (3,142 \cdot (26 + 6) \cdot (6 - 2,75)) = 113,9 \text{ МПа}$$

Если F_z создает сжимающее напряжение, ее следует принять равной нулю.

Условие прочности: $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$

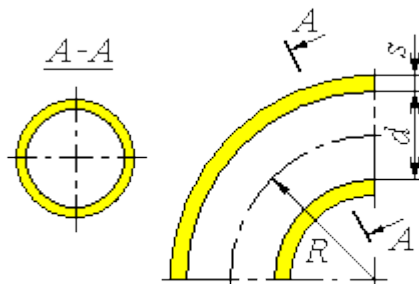
113,9 МПа ≤ 174 МПа. **Условие прочности выполнено**

| | | | | | |
|--------------|---------|----------------|--------------|--------------|------------------|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | Лист 49 |

Отвод DN25

Расчёт прочности отвода по СА 03-003-07

Исходные данные



| | |
|---|---------------------------------|
| Элемент: | Отвод DN25 |
| Тип отвода: | Гнутый или крутоизогнутый отвод |
| Материал отвода: | 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 |
| Внутренний диаметр отвода, d: | 26 мм |
| Толщина стенки отвода, s: | 6 мм |
| Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, с ₁ : | 2 мм |
| Прибавка для компенсации минусового допуска, с ₂ : | 0,75 мм |
| Прибавка технологическая, с ₃ : | 0,75 мм |
| Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, с: | 3,5 мм |
| Радиус отвода, R: | 100 мм |
| Угол, γ: | 0 ° |
| Коэффициенты прочности сварных швов: | |
| Продольный шов: | |
| $\varphi_{\gamma} = 0,9$ | |

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 50 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,8049 МПа

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 50 °C (рабочие условия):

[σ]= 174 МПа

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 50 °C:

E= 1,96·10⁵ МПа

k₁ = 1 для соотношения R / (d + s) = 3,125

Расчётная толщина стенки трубы (патрубка штуцера):

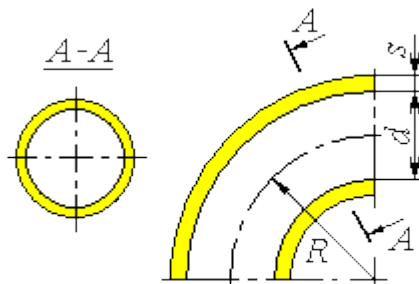
$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_y - p} = (0,8049 \cdot (26 + 2 \cdot 3,5)) / (2 \cdot 174 \cdot 0,9 - 0,8049) = 0,08503 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки гнутых и крутоизогнутых отводов:

Отвод DN50

Расчёт прочности отвода по СА 03-003-07

Исходные данные



| | |
|---|---------------------------------|
| Элемент: | Отвод DN50 |
| Тип отвода: | Гнутый или крутоизогнутый отвод |
| Материал отвода: | 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 |
| Внутренний диаметр отвода, d: | 47 мм |
| Толщина стенки отвода, s: | 5 мм |
| Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, с ₁ : | 2 мм |
| Прибавка для компенсации минусового допуска, с ₂ : | 0,75 мм |
| Прибавка технологическая, с ₃ : | 0 мм |
| Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, с: | 2,75 мм |
| Радиус отвода, R: | 75 мм |
| Угол, γ: | 0 ° |
| Коэффициенты прочности сварных швов: | |
| Продольный шов: | |
| $\varphi_{\gamma} = 0,9$ | |

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 50 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,8049 МПа

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 50 °C (рабочие условия):
[σ]= 174 МПа

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 50 °C:
E= 1,96·10⁵ МПа

k₁ = 1,167 для соотношения R / (d + s) = 1,442

Расчётная толщина стенки трубы (патрубка штуцера):

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_y - p} = (0,8049 \cdot (47 + 2 \cdot 2,75)) / (2 \cdot 174 \cdot 0,9 - 0,8049) = 0,1353 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки гнутых и крутоизогнутых отводов:

$$s_{p0} = k_1 \cdot s_p = 1,167 * 0,1353 = 0,1579 \text{ мм}$$

Расчётная толщина отвода с учетом прибавок:

$$s_p = s_{p0} + c = 0,1579 + 2,75 = 2,908 \text{ мм}$$

Условие прочности:

$$s \geq s_{p0} + c$$

5 мм ≥ 0,1579 + 2,75 = 2,908 мм. **Условие прочности выполнено**

$$k_i = k_1 = 1,167$$

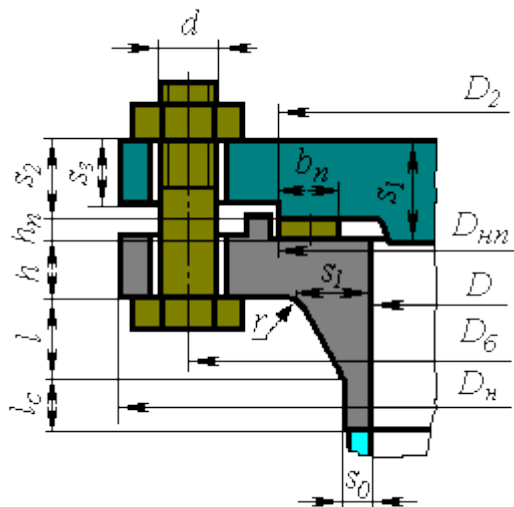
Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_y \cdot (s - c)}{k_i \left[d + \frac{s - c}{k_i} \right]} = 2 * 174 * 0,9 * (5 - 2,75) / (1,167 * [47 + (5 - 2,75) / 1,167]) = 12,34 \text{ МПа}$$

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| Лист | | | | |
| 53 | | | | |

Фланец с крышкой DN600

Расчёт на прочность по ГОСТ Р 52857.4-2007 и ГОСТ Р 52857.2-2007



Исходные данные

Параметры крышки:

Материал: 09Г2С

Толщина стенки, s_1 : 36 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1 : 2 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2 : 0 мм

Прибавка технологическая, с₃: 0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, с: 2 мм

Толщина в месте прокладки, s_2 : 32 мм

Толщина вне уплотнения, s_3 : 26 мм

Наименьший диаметр наружной утоненной части, D_2 : 663 мм

Наружный диаметр крышки, D_н: 740 мм

Параметры фланца:

Тип фланца: Приварные встык

Исполнение фланца: Выступ-впадина

Диаметр болтовой окружности, D_6 : 700 мм

Материал фланца: 09Г2С (КП245)

Смежный элемент: Штуцер МН DN600

Материал смежного элемента: 09Г2С

Толщина стенки смежного элемента: 10 мм

Внутренний диаметр фланца, D: 600 мм

Наружный диаметр фланца, D_н: 740 мм

Толщина фланца, h: 30 мм

| | | | | | | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--|-----------------|------|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1 : | 2 мм | |
| | | | | | Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2 : | 0 мм | |
| 19786.4 | | | | | Прибавка технологическая, c_3 : | 0 мм | |
| | | | | | Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c : | 2 мм | |
| | | | | | Толщина в месте прокладки, s_2 : | 32 мм | |
| | | | | | Толщина вне уплотнения, s_3 : | 26 мм | |
| | | | | | Наименьший диаметр наружной утоненной части, D_2 : | 663 мм | |
| | | | | | Наружный диаметр крышки, D_n : | 740 мм | |
| | | | | | Параметры фланца: | | |
| | | | | | Тип фланца: | Приварные встык | |
| | | | | | Исполнение фланца: | Выступ-впадина | |
| | | | | | Диаметр болтовой окружности, D_6 : | 700 мм | |
| | | | | | Материал фланца: | 09Г2С (КП245) | |
| | | | | | Смежный элемент: | Штуцер МН DN600 | |
| | | | | | Материал смежного элемента: | 09Г2С | |
| | | | | | Толщина стенки смежного элемента: | 10 мм | |
| | | | | | Внутренний диаметр фланца, D : | 600 мм | |
| | | | | | Наружный диаметр фланца, D_n : | 740 мм | |
| | | | | | Толщина фланца, h : | 30 мм | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | E-4.00.00.000 PP | | Лист |
| | | | | | | | 54 |

Сумма прибавок, с: 2 мм
Длина конической части втулки, l: 36 мм
Длина цилиндрической части втулки, l_с: 0 мм
Толщина цилиндрической части втулки, s₀: 8 мм
Толщина конической части втулки, s₁: 20 мм
Радиус перехода, r: 7 мм

Шпильки:

Материал: 20ХН3А
Наружный диаметр, d: 23 мм
Количество, n: 28
Контроль затяжки: Нет

Прокладка:

Материал прокладки: Паронит по ГОСТ 481 при толщине не более 3 мм
Толщина, h_п: 2 мм
Наружный диаметр, D_{н.п}: 663 мм
Ширина, b_п: 13 мм
Коэффициент прочности сварного шва:

$\varphi_p = 1$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,8 МПа

Расчёт фланца по ГОСТ Р 52857.4-2007:

Свойства материала болтов (шпилек)

Температура болтов (шпилек), t_б: 50 °С
Номинальные допускаемые напряжения для материала 20ХН3А при температуре T = 50 °С:
 $[\sigma]_б = \sigma_T / n_T = 579 / 2,7 = 214,4 \text{ МПа}$
Модуль продольной упругости для материала 20ХН3А при температуре T = 50 °С:
E_б = 2,12·10⁵ МПа
Коэффициент линейного расширения для материала 20ХН3А при температуре T = 50 °С:
 $\alpha_б = 0,115 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$
Номинальные допускаемые напряжения для материала 20ХН3А при температуре T = 20 °С:
 $[\sigma]^{20}_б = \sigma_T / n_T = 590 / 2,7 = 218,5 \text{ МПа}$
Модуль продольной упругости для материала 20ХН3А при температуре T = 20 °С:
E²⁰_б = 2,15·10⁵ МПа

Свойства материала смежного элемента фланца 2 Штуцер МН DN600

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 50 °С (рабочие условия):
 $[\sigma]_{ш} = 188,5 \text{ МПа}$
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 20 °С (рабочие условия):
 $[\sigma]^{20}_{ш} = 196 \text{ МПа}$

| | | | | | | | | | |
|---------------|--|----------------|--|----------|--|-------|--|------|--|
| Инов. № подл. | | Подпись и дата | | Изм. | | Лист | | | |
| 19786.4 | | | | | | 55 | | | |
| Изм. | | Лист | | № докум. | | Подп. | | Дата | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Свойства материала фланца

Температура фланца (кольца), t_{ϕ} : 50 °C
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50$ °C (рабочие условия):
 $[\sigma]_{\phi} = \eta \cdot \min(R_{eL} / n_T; R_{mL} / n_B; R_{m/10^6/t} / n_D; R_{p1,0/10^6/t} / n_P) = 1 \cdot \min\{231,9 / 1,5; 419,4 / 2,4; - / -; - / -\} = 154,6$ МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50$ °C:
 $E_{\phi} = 1,96 \cdot 10^5$ МПа
Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50$ °C:
 $\alpha_{\phi} = 0,116 \cdot 10^{-4}$ °C
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20$ °C (рабочие условия):
 $[\sigma]_{\phi}^{20} = \eta \cdot \min(R_{eL} / n_T; R_{mL} / n_B; R_{m/10^6/t} / n_D; R_{p1,0/10^6/t} / n_P) = 1 \cdot \min\{245 / 1,5; 440 / 2,4; - / -; - / -\} = 163,3$ МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20$ °C:
 $E_{\phi}^{20} = 1,99 \cdot 10^5$ МПа

Свойства материала крышки

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 50$ °C (рабочие условия):
 $[\sigma]_{кр} = 174$ МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре $T = 50$ °C:
 $E_{кр} = 1,96 \cdot 10^5$ МПа
Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С при температуре $T = 50$ °C:
 $\alpha_{кр} = 0,116 \cdot 10^{-4}$ °C
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 20$ °C (рабочие условия):
 $[\sigma]_{кр}^{20} = 183$ МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре $T = 20$ °C:
 $E_{кр}^{20} = 1,99 \cdot 10^5$ МПа

Характеристики прокладки:

| Тип и материал про- кладки | Коэффициент m | Удельное давле- ние обжатия $q_{обж}$, МПа | Допускаемое удель- ное давление $[q]$, МПа | Коэффи-циент обжатия K | Условный мо- дуль сжатия E_n , МПа |
|---|------------------|---|---|---------------------------|--|
| Паронит по ГОСТ 481 при толщине не более 3 мм | 2,5 | 20 | 130 | 0,9 | 2000 |

Эффективная ширина прокладки:

$b_0 = 13$ мм

Примечание:
$$\begin{cases} b_0 = b_{гф} & \text{при } b_{гф} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{гф}} & \text{при } b_{гф} > 15,0 \text{ мм} \end{cases}$$

Рабочий наружный диаметр прокладки:

$D_{гф} = 663$ мм

Средний эффективный диаметр прокладки:

$D_{ст} = D_{гф} - b_0 = 663 - 13 = 650$ мм

Податливость прокладки (п. 3.3):

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|------------------|--|--|--|--|------------|
| Инв. № подл. 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | | | | | | Лист 56 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | | | | | |

$$y_{\pi} = \frac{h_{\pi} \cdot K}{E_{\pi} \cdot \pi \cdot D_{\pi} \cdot t_{\pi}} = 2 \cdot 0,9 / (2000 \cdot 3,142 \cdot 650 \cdot 13) = 0,339 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчётные параметры болтов (шпилек):

Рабочая длина болта (шпильки):

$$L_{\pi 0} = h + s_2 + h_{\pi} = 32 + 30 + 2 = 64 \text{ мм}$$

Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):

$$f_{\pi} = 0,3027 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Эффективная длина шпильки:

$$L_{\pi} = L_{\pi 0} + 0,56 \cdot d = 64 + 0,56 \cdot 23 = 76,88 \text{ мм}$$

Податливость шпилек:

$$y_{\pi} = \frac{L_{\pi}}{E_{\pi} \cdot f_{\pi} \cdot n} = 76,88 / (2,15 \cdot 10^5 \cdot 0,3027 \cdot 10^{-3} \cdot 28) = 0,4218 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчётные параметры крышки:

$$K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{ст}}} = 740 / 650 = 1,138$$

$$x_{\text{кр}} = \frac{0,67 \cdot [K_{\text{кр}}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\text{кр}}) - 1]}{(K_{\text{кр}} - 1) \cdot [K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1,857 \cdot K_{\text{кр}}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{0,67 \cdot (1,138^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,138)) - 1)}{(1,138 - 1) \cdot [1,138^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,138^2 + 1) \cdot (36/32)^3]} = 0,8651$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре T = 20 °С:

$$E_{\text{кр}}^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Угловая податливость крышки:

$$y_{\text{кр}} = \frac{x_{\text{кр}}}{E_{\text{кр}}^{20} \cdot s_2^3} = 0,8651 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 32^3) = 0,7602 \cdot 10^{-5} \text{ °/Н м}$$

Расчётные параметры фланца:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (600 \cdot 8)^{1/2} = 69,28 \text{ мм}$$

$$\beta_F = 0,8119$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D + 2 \cdot c} = 740 / (600 + 2 \cdot 0) = 1,233$$

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1,233^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,233) - 1) / ((1,05 + 1,945 \cdot 1,233^2) \cdot (1,233 - 1)) = 1,824$$

$$\beta_V = 0,1798$$

$$\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1,233^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,233) - 1) / (1,36 \cdot (1,233^2 - 1) \cdot (1,233 - 1)) = 10,31$$

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 57 |

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_H \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0,8119 \cdot 30 + 69,28) / (1,824 \cdot 69,28) + 0,1798 \cdot 30^3 / (10,31 \cdot 69,28 \cdot 8^2) = 0,8473$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\Phi} = \frac{0,91 \cdot \beta_{\text{W}}}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0,91 \cdot 0,1798 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 0,8473 \cdot 8^2 \cdot 69,28) = 0,1254 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{H}_\text{M}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$

$$b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 0.5 \cdot (700 - 650) = 25 \text{ мм}$$

$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 20/8 = 2,5$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{(D+2c) \cdot (s_0 - c)}} = 36 / ((600 + 2 \cdot 0) \cdot (8 - 0))^{1/2} = 0,5196$$

$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{\Delta}} = 1 + (2,5 - 1) * 0,5196 / (0,5196 + (1 + 2,5) / 4) = 1,559$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = K \cdot (s_0 - C) = 1,559 \cdot (8 - 0) = 12,47 \text{ MM}$$

$$e = 0.5 \cdot (D_{\text{сш}} - (D + 2 \cdot c) - s_a) = 0.5 \cdot (650 - (600 + 2 \cdot 0) - 12,47) = 18,76 \text{ мм}$$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:

$$Q_H = 0,785 \cdot D_{\text{m}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 650^2 \cdot 0,8 = 2,653 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:

$$R_{\pi} = \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3,142 \cdot 650 \cdot 13 \cdot 2,5 \cdot |0,8| = 5,309 \cdot 10^4 \text{ H}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{06ж} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ш}} \cdot b_0 \cdot q_{06ж} = 0.5 * 3,142 * 650 * 13 * 20 = 2,655 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\eta = y_{\Pi} + y_6 + y_{\Phi}^I \cdot b^{I2} + y_{\Phi}^{II} \cdot b^{II2} = 0,339 \cdot 10^{-7} + 0,4218 \cdot 10^{-7} + 0,7602 \cdot 10^{-5} * 25^2 + 0,1254 \cdot 10^{-4} * 25^2 = 0,2958 \cdot 10^{-6} \text{ mm/H}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y_{\Phi} \cdot e + y_{\text{xp}} \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0,339 \cdot 10^{-7} - (0,1254 \cdot 10^{-4} * 18,76 + 0,7602 \cdot 10^{-5} * 25) * 25) / 0,2958 \cdot 10^{-6} = 1,513$$

Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях:

$$P_{61} = \alpha \cdot Q_{II} + R_{II} = 1,513 \cdot 2,653 \cdot 10^5 + 5,309 \cdot 10^4 = 4,545 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:

| | | | | | | | |
|---|---------|----------------|-------|--------------|------------------|----------------|--|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | $s_3 = K \cdot (s_0 - c) = 1,559 \cdot (8 - 0) = 12,47 \text{ мм}$ |
| | | | | | | | $e = 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - (D + 2 \cdot c) - s_3) = 0.5 \cdot (650 - (600 + 2 \cdot 0) - 12,47) = 18,76 \text{ мм}$ |
| Расчёт нагрузок: | | | | | | | |
| Равнодействующая давления: | | | | | | | |
| $Q_{\text{д}} = 0.785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 650^2 \cdot 0,8 = 2,653 \cdot 10^5 \text{ Н}$ | | | | | | | |
| Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности: | | | | | | | |
| $R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot p = 3,142 \cdot 650 \cdot 13 \cdot 2,5 \cdot 0,8 = 5,309 \cdot 10^4 \text{ Н}$ | | | | | | | |
| Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке: | | | | | | | |
| $P_{\text{обж}} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0.5 \cdot 3,142 \cdot 650 \cdot 13 \cdot 20 = 2,655 \cdot 10^5 \text{ Н}$ | | | | | | | |
| $\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + y_{\text{ф}}' \cdot b'^{1/2} + y_{\text{ф}}'' \cdot b''^{1/2} = 0,339 \cdot 10^{-7} + 0,4218 \cdot 10^{-7} + 0,7602 \cdot 10^{-5} \cdot 25^2 + 0,1254 \cdot 10^{-4} \cdot 25^2 = 0,2958 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ | | | | | | | |
| Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением: | | | | | | | |
| $\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}} \cdot e + y_{\text{кр}} \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0,339 \cdot 10^{-7} - (0,1254 \cdot 10^{-4} \cdot 18,76 + 0,7602 \cdot 10^{-5} \cdot 25) \cdot 25) / 0,2958 \cdot 10^{-6} = 1,513$ | | | | | | | |
| Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях: | | | | | | | |
| $P_{\text{б1}} = \alpha \cdot Q_{\text{д}} + R_{\text{п}} = 1,513 \cdot 2,653 \cdot 10^5 + 5,309 \cdot 10^4 = 4,545 \cdot 10^5 \text{ Н}$ | | | | | | | |
| Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра: | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | E-4.00.00.000 PP | | |
| | | | | | Лист 58 | | |

$$M_{кр} = 0,3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 7,41 \cdot 10^5 \cdot 23 / 28 = 182,6 \text{ Н м}$$

При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0,75 \cdot M_{кр} = 136,9 \text{ Н м}$

Расчёт прокладки:

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max \{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max \{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} = \max \{7,41 \cdot 10^5; 6,049 \cdot 10^5\} / (3,142 \cdot 650 \cdot 13) = 27,91 \text{ МПа}$$

$$[q] = 130 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности выполнено

Расчёт ответного фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{\delta \cdot h}{m + 0,5}}} \right\} = \max \{1; (3,142 \cdot 700 / 28 / (2 \cdot 23 + 6 \cdot 30 / (2,5 + 0,5)))^{1/2}\} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 7,41 \cdot 10^5 \cdot 25 = 1,852 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

$$D^* = (D + 2 \cdot c) \text{ при } (D + 2 \cdot c) \geq 20 \cdot (s_1 - c) = 600 + 2 \cdot 0 \text{ при } (600 + 2 \cdot 0) \geq 20 \cdot (20 - 0) = 600 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1,852 \cdot 10^4 / (0,8473 \cdot (20 - 2)^2 \cdot 600) = 112,5 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1,0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,8119 \cdot 30 + 69,28) / (0,8473 \cdot 30^2 \cdot 69,28 \cdot 600) \cdot 1,852 \cdot 10^4 = 59,41 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1,233 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 1,233^2 \cdot \lg 1,233 / (1,233^2 - 1)) = 9,475$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1,233^2 + 1) / (1,233^2 - 1) = 4,838$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 9,475 \cdot 1,852 \cdot 10^4 / (30^2 \cdot 600) - 4,838 \cdot 59,41 = 37,57 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_f (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|, |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|, |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max \{ |112,5 + 59,41|; |112,5 + 37,57| \} = 171,9 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ Р 52857.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_F^{20} = 1,5 \cdot 163,3 = 245 \text{ МПа}$$

| | | | | | |
|------------------|---------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | | Лист |
| | | | | | 60 |

$$K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}}^{20} = 1 \cdot 245 = 245 \text{ МПа}$$

171,9 МПа ≤ 245 МПа, **Условие прочности выполнено**

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ F_{\text{в}}^P \cdot b + Q_{\text{д}} \cdot e; |Q_{\text{д}}| \cdot e \right\} = 1 \cdot \max \{ 6,049 \cdot 10^5 \cdot 25 + 2,653 \cdot 10^5 \cdot 18,76; |2,653 \cdot 10^5| \cdot 18,76 \} = 2,01 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = \frac{2,01 \cdot 10^4}{0,8473 \cdot (20 - 2)^2 \cdot 600} = 122 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^P = \frac{(1,33 \cdot 0,8119 \cdot 30 + 69,28) / (0,8473 \cdot 30^2 \cdot 69,28 \cdot 600)}{2,01 \cdot 10^4} = 64,47 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = \frac{9,475 \cdot 2,01 \cdot 10^4}{(30^2 \cdot 600)} - 4,838 \cdot 64,47 = 40,77 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_{\text{мм}}^P = \frac{Q_{\text{д}}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = \frac{2,653 \cdot 10^5}{3,142 \cdot (600 + 20) \cdot (20 - 2)} = 7,568 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^P + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{мм}}^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^P + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{мм}}^P \right| \right\} = \frac{\max \{ |122 - 7,568 + 64,47|; |122 - 7,568 + 40,77|; |122 + 7,568| \}}{7,568} = 178,9 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ Р 52857.1):

$$[\sigma]_{\text{н}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 154,6 = 231,9 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}} = 1 \cdot 231,9 = 231,9 \text{ МПа}$$

178,9 МПа ≤ 231,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0 \right\} = \max \{ 4,691 / (1 + 1,5); 1,0 \} = 1,876$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1,876 \cdot 112,5 = 211 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1,3 \cdot [\sigma]_{\text{н}}^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ Р 52857.1):

$$[\sigma]_{\text{н}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 163,3 = 490 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_{\text{н}}^{20} = 1,3 \cdot 490 = 637 \text{ МПа}$$

211 МПа ≤ 637 МПа, **Условие прочности выполнено**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1,876 \cdot 122 = 229 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

| | | | | | |
|---------------|---------|----------------|--------------|---------------|------------------|
| Инов. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | Лист |
| | | | | | 61 |

$$\sigma_{\text{ср}}^{\text{р}} = \frac{Q_{\text{п}}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 2,653 \cdot 10^5 / (3,142 \cdot (600 + 8) \cdot (8 - 2)) = 23,15 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{0mo}^p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,8 * 600 / (2 * (8 - 2)) = 40 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^P \right|, \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|, \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^P - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^P \right|, \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|, \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^P - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ |229 \pm 23, 15|; |0.3 * 229 \pm 40|; |0.7 * 229 \pm (23, 15 - 40)| \} = 252,1 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ Р 52857.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 * 154,6 = 463,7 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_{\text{R}} = 1,3 \cdot 463,7 = 602,9 \text{ МПа}$$

$$252,1 \text{ МПа} \leq 602,9 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0m0}^P \right|, \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}} \right|, \left| \sigma_{0\text{mn}}^{\text{P}} \right| \right\} = \max \{40; 23,15\} = 40 \text{ МПа}$$

$40 \text{ МПа} \leq 154,6 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 59,41; 37,57 \} = 59,41 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 * 163,3 = 163,3 \text{ МПа}$$

$59,41 \text{ МПа} \leq 163,3 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ |64,47|; |40,77| \} = 64,47 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_m = 1 \cdot 154,6 = 154,6 \text{ МПа}$$

$$64,47 \text{ МПа} \leq 154,6 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\Theta = M^P \cdot Y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{F} = 2,01 \cdot 10^4 * 0,1254 \cdot 10^{-4} * 1,99 \cdot 10^5 / 1,96 \cdot 10^5 = 0,256^{\circ}$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\text{H}] = 0,3939^\circ$$

Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: $K_{\Theta} = 1$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\odot \leq K_{\odot} \cdot [\odot] = 1 * 0,3939 = 0,3939^{\circ}$$

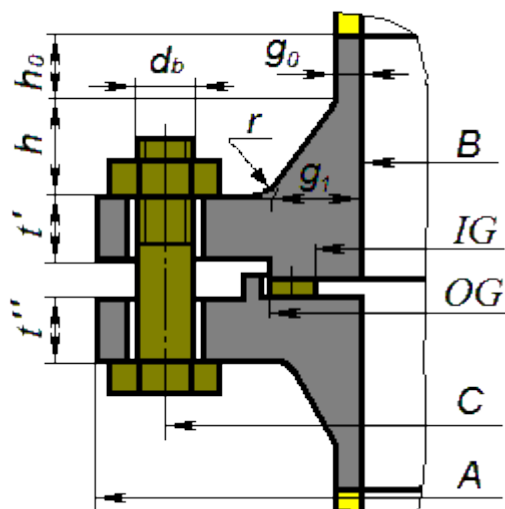
Условие жёсткости выполнено

Температура фланца (кольца), t_{ϕ} : 50 °C

| | | | | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|---|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | <p> $\max \{ \sigma_R^p ; \sigma_T^p \} = \max\{59,41; 37,57 \} = 59,41 \text{ МПа}$ </p> <p> $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 163,3 = 163,3 \text{ МПа}$ </p> <p> $59,41 \text{ МПа} \leq 163,3 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено </p> <p> Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: </p> <p> $\max \{ \sigma_R^p ; \sigma_T^p \} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ </p> <p> $\max \{ \sigma_R^p ; \sigma_T^p \} = \max\{ 64,47 ; 40,77 \} = 64,47 \text{ МПа}$ </p> <p> $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 154,6 = 154,6 \text{ МПа}$ </p> <p> $64,47 \text{ МПа} \leq 154,6 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено </p> <p> Жёсткость фланца: </p> <p> Угол поворота фланца в рабочих условиях: </p> <p> $\Theta = M^p \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 2,01 \cdot 10^4 \cdot 0,1254 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,96 \cdot 10^5 = 0,256^{\circ}$ </p> <p> Допускаемый угол поворота фланца: </p> <p> $[\Theta] = 0,3939^{\circ}$ </p> <p> Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: $K_{\Theta} = 1$ </p> <p> Условие выполнения жесткости фланцев: </p> <p> $\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1 \cdot 0,3939 = 0,3939^{\circ}$ </p> <p> Условие жёсткости выполнено </p> <p> Температура фланца (кольца), t_{Φ}: 50°C </p> |
| | | | | | <div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> <div> <div>19786.4</div> <div>Е-4.00.00.000 РР</div> <div>Лист</div> <div>62</div> </div> </div> |

Фланцевое соединение DN80

Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2



Исходные данные

Тип фланца: Приварные встык

Исполнение: Выступ-впадина

Теплоизоляция: Нет

Свободный/интегральный: -

Диаметр болтовой окружности, С: 160 мм

Данные первого фланца (кольца):

Смежный элемент: Штуцер PSV DN80

Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245)

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 195 мм

Толщина фланца (кольца), t: 19 мм

Сумма прибавок, с: 2 мм

Внешняя коррозия фланца, c_f : 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 78 мм

Длина конической части втулки, h: 25 мм

Длина цилиндрической части втулки, h_0 : 8 мм

Толщина цилиндрической части втулки, g_0 : 6 мм

Толщина конической части втулки, g_1 : 16 мм

Радиус перехода, г: 5 мм

Данные второго фланца (кольца):

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245)

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|---|---|---------------------|----------|-------|------|------------------|--|------------|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Свободный/интегральный: | - | | | | | | | |
| | | | | | Диаметр болтовой окружности, С: | 160 мм | | | | | | | |
| 19786.4 | | | | | Данные первого фланца (кольца): | | | | | | | | |
| | | | | | Смежный элемент: | Штуцер PSV DN80 | | | | | | | |
| | | | | | Материал смежного элемента: | 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 | | | | | | | |
| | | | | | Материал фланца (кольца): | 09Г2С (КП245) | | | | | | | |
| | | | | | Наружный диаметр фланца (кольца), А: | 195 мм | | | | | | | |
| | | | | | Толщина фланца (кольца), t: | 19 мм | | | | | | | |
| | | | | | Сумма прибавок, с: | 2 мм | | | | | | | |
| | | | | | Внешняя коррозия фланца, с _f : | 0 мм | | | | | | | |
| | | | | | Внутренний диаметр фланца, В: | 78 мм | | | | | | | |
| | | | | | Длина конической части втулки, h: | 25 мм | | | | | | | |
| | | | | | | Длина цилиндрической части втулки, h ₀ : | 8 мм | | | | | | |
| | | | | | | Толщина цилиндрической части втулки, g ₀ : | 6 мм | | | | | | |
| | | | | | | Толщина конической части втулки, g ₁ : | 16 мм | | | | | | |
| | | | | | | Радиус перехода, r: | 5 мм | | | | | | |
| | | | | | | Данные второго фланца (кольца): | | | | | | | |
| | | | | | | Смежный элемент: | | | | | | | |
| | | | | | | Материал смежного элемента: | 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 | | | | | | |
| | | | | | | Материал фланца (кольца): | 09Г2С (КП245) | | | | | | |
| | | | | | | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 PP | | Лист 65 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

Наружный диаметр фланца (кольца), A: 195 мм
Толщина фланца (кольца), t: 19 мм
Сумма прибавок, с: 2 мм
Внешняя коррозия фланца, с_г: 0 мм
Внутренний диаметр фланца, B: 78 мм
Длина конической части втулки, h: 25 мм
Длина цилиндрической части втулки, h₀: 8 мм
Толщина цилиндрической части втулки, g₀: 6 мм
Толщина конической части втулки, g₁: 16 мм
Радиус перехода, r: 5 мм

Шпильки:

Материал: 20ХН3А
Наружный диаметр, d_б: 16 мм
Количество, n: 8

Радиальная коррозия крепежа, с_б: 0 мм

Прокладка:

Материал прокладки: Паронит по ГОСТ 481 при толщине не более 3 мм
Толщина, h_п: 2 мм
Наружный диаметр, OG: 120 мм
Внутренний диаметр, IG: 87 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н
Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н м
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,8 МПа
Расчётная температура элементов соединения:
Температура фланца (кольца), t_ф: 50 °С
Температура фланца (кольца), t_ф: 50 °С
Температура болтов (шпилек), t_б: 50 °С

Свойства материала болтов (шпилек)

Допускаемые напряжения для материала 20ХН3А при температуре T = 50 °С (рабочие условия):
 $S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 579 / 1,5; 726 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$
Модуль продольной упругости для материала 20ХН3А при температуре T = 50 °С:
E_б = 2,12·10⁵ МПа
Коэффициент линейного расширения для материала 20ХН3А при температуре T = 50 °С:
α_б = 0,115·10⁻⁴ °С
Допускаемые напряжения для материала 20ХН3А при температуре T = 20 °С (рабочие условия):
 $S_a = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e^{20} / n_T\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 590 / 1,5) = 147,2 \text{ МПа}$
Модуль продольной упругости для материала 20ХН3А при температуре T = 20 °С:
E²⁰_б = 2,15·10⁵ МПа

| | | | | | | |
|--------------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------------|------------|
| Инов. № подл. 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата | | Лист 66 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | E-4.00.00.000 PP | |

Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер PSV DN80

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{но}1} = 174,4 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{нг}1} = 183 \text{ МПа}$$

Свойства материала смежного элемента фланца 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{но}2} = 174,4 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{нг}2} = 183 \text{ МПа}$$

Свойства материала фланца (кольца) 1

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{fo}1} = \min(R_{\text{e}t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{231,9 / 1,5; 440 / 2,4\} = 154,6 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_1 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_1 = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{g}1} = \min(R_{\text{e}t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{245 / 1,5; 440 / 2,4\} = 163,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E^{20}_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала фланца (кольца) 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{fo}2} = \min(R_{\text{e}t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{231,9 / 1,5; 440 / 2,4\} = 154,6 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_2 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_2 = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{g}2} = \min(R_{\text{e}t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{245 / 1,5; 440 / 2,4\} = 163,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E^{20}_2 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётные параметры первого фланца:

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):

$$B = B + 2 \cdot c = 78 + 2 \cdot 2 = 82 \text{ мм}$$

Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):

$$\xi_0 = \xi_0 - c = 6 - 2 = 4 \text{ мм}$$

Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:

$$\xi_1 = \xi_1 - c = 16 - 2 = 14 \text{ мм}$$

Толщина фланца, с учетом коррозии:

$$t = t - c_f = 19 - 0 = 19 \text{ мм}$$

Расчётные параметры второго фланца:

| | | | | | | | | | |
|----------------|------|----------------|-------|----------------|------------------|----------------|--|----------------|------|
| Подпись и дата | | Подпись и дата | | Подпись и дата | | Подпись и дата | | Подпись и дата | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | | | | 67 |

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

Характеристики прокладки:

| Тип и материал прокладки | Прокладочный коэффициент, m | Давление обжатия, у, МПа | Допускаемое удельное давление [q], МПа | Коэффициент обжатияК | Условный модуль сжатия E_n , МПа |
|---|-----------------------------|--------------------------|--|----------------------|------------------------------------|
| Паронит по ГОСТ 481 при толщине не более 3 мм | 2,5 | 20 | 130 | 0,9 | 2000 |

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b_0 , на основании возможной контактной ширины прокладки:

$$N = \frac{OG - IG}{2} = (120 - 87) / 2 = 16,5 \text{ mm}$$

Базовая контактная ширина прокладки:

$$b_0 = \frac{N}{2} = 16,5/2 = 8,25 \text{ mm}$$

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b_0 , на основании возможной контактной ширины прокладки:

$$N = \frac{OG - IG}{2} = (120 - 87) / 2 = 16,5 \text{ mm}$$

Базовая контактная ширина прокладки:

$$b_0 = \frac{N}{2} = 16,5/2 = 8,25 \text{ mm}$$

Эффективная контактная ширина прокладки:

$$b = \begin{cases} b_0 & \text{если } b_0 \leq 6 \text{ мм} \\ 2,5 \cdot \sqrt{b_0} & \text{если } b_0 > 6 \text{ мм} \end{cases} = 7,181 \text{ мм}$$

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:

Если $b_0 > 6$ мм, G равно наружному диаметру контактирующей поверхности прокладки минус $2b$:

$$G = OG - 2 \cdot b = 120 - 2 \cdot 7,181 = 105,6 \text{ mm}$$

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b_0 , на основании возможной контактной ширины прокладки:

$$N = \frac{OG - IG}{2} = (120 - 87) / 2 = 16,5 \text{ mm}$$

Базовая контактная ширина прокладки:

$$b_0 = \frac{N}{2} = 16,5 / 2 = 8,25 \text{ mm}$$

Эффективная контактная ширина прокладки:

$$b = \begin{cases} b_0 & \text{если } b_0 \leq 6 \text{ мм} \\ 2.5 \cdot \sqrt{b_0} & \text{если } b_0 > 6 \text{ мм} \end{cases} = 7,181 \text{ мм}$$

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:

Если $b_0 > 6$ мм, G равно наружному диаметру контактирующей поверхности прокладки минус $2b$:

$$G = OG - 2 \cdot b = 120 - 2 \cdot 7.181 = 105.6 \text{ mm}$$

Расчёт нагрузок

| | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|---|--|--|--|--|--|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | $b = \begin{cases} b_0 & \text{если } b_0 \leq 6 \text{ мм} \\ 2.5 \cdot \sqrt{b_0} & \text{если } b_0 > 6 \text{ мм} \end{cases} = 7,181 \text{ мм}$ <p>Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки: Если $b_0 > 6$ мм, G равно наружному диаметру контактирующей поверхности прокладки минус 2b:</p> $G = OG - 2 \cdot b = 120 - 2 \cdot 7,181 = 105,6 \text{ мм}$ <p>Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b_0, на основании возможной контактной ширины прокладки:</p> $N = \frac{OG - IG}{2} = (120 - 87) / 2 = 16,5 \text{ мм}$ <p>Базовая контактная ширина прокладки:</p> $b_0 = \frac{N}{2} = 16,5 / 2 = 8,25 \text{ мм}$ <p>Эффективная контактная ширина прокладки:</p> $b = \begin{cases} b_0 & \text{если } b_0 \leq 6 \text{ мм} \\ 2.5 \cdot \sqrt{b_0} & \text{если } b_0 > 6 \text{ мм} \end{cases} = 7,181 \text{ мм}$ <p>Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки: Если $b_0 > 6$ мм, G равно наружному диаметру контактирующей поверхности прокладки минус 2b:</p> $G = OG - 2 \cdot b = 120 - 2 \cdot 7,181 = 105,6 \text{ мм}$ <p style="text-align: center;">Расчёт нагрузок</p> | | | | | |
| | | | | | <table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr></table> | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | | | | | |

| | | | | | |
|------------------|--|--|--|--|------|
| Е-4.00.00.000 РР | | | | | Лист |
| | | | | | 68 |

Номинальный диаметр болта:

$$a = d_b = 16 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (62,83 / (2 \cdot 16 + 19))^{1/2} \} = 1,11$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 14 / 4 = 3,5$$

Коэффициент

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (82 \cdot 4)^{1/2} = 18,11 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 25 / 18,11 = 1,38$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,6216$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,6216 / 18,11 = 0,03432 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 195 / 82 = 2,378$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,378^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,378) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 2,378^2) \cdot (2,378 - 1)) = 1,377$$

$$U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,378^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,378) - 1) / (1,36136 \cdot (2,378^2 - 1) \cdot (2,378 - 1)) = 2,617$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,04862$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 2,617 / 0,04862 \cdot 18,11 \cdot 4^2 = 0,1559 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (19 \cdot 0,03432 + 1) / 1,377 + 19^3 / 0,1559 \cdot 10^{-4} = 1,64$$

Момент инерции сечения фланца при изгибе (интегральные фланцы с втулкой):

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 1,64 \cdot 4 \cdot 18,11 \cdot 82 / 0,04862 = 0,7004 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$G_{\text{avg}} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (4 + 14) = 9 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (195 - 82) = 56,5 \text{ мм}$$

Так как $t \geq G_{\text{avg}}$,

$$A_A = A_R = 56,5 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 19 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left(A_A \cdot B_B^3 \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left(\frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (56,5 \cdot 19^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (19/56,5) \cdot (1 - 1/12 \cdot \{19/56,5\}^4)] = 0,1018 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$C_c = h = 25 \text{ мм}$$

| | | | | | |
|--------------|---------|----------------|-------|------|------------------|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | | |
| | | Инв. № дубл. | | | |
| | | Взам. инв. № | | | |
| | | Подпись и дата | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | Лист 70 |

$$D_{DG} = G_{mg} = 9 \text{ mm}$$

$$K_{CD} = \left(C_c \cdot D_{DG}^3 \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 1.05 \cdot \left(\frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (25 * 9^3) * [1/3 - 1.05 * (9/25) * (1 - 1/192 * \{9/25\}^4)] = (-0,8134 \cdot 10^{-9}) \text{ M}^4$$

Полярный момент сечения фланца (интегральные фланцы, плоские фланцы с втулкой):

$$I_p = K_{AB} + K_{CD} = 0,1018 \cdot 10^{-6} + (-0,8134 \cdot 10^{-9}) = 0,101 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Компонент проектного момента на фланце, как результат действия внешнего изгибающего момента и/или осевой силы:

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[\frac{I}{0.3846 \cdot I_p + I} \right] \cdot \left[\frac{h_D}{C - 2 \cdot h_p} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 0 \cdot [0.7004 \cdot 10^7 / (0.3846 \cdot 0.101 \cdot 10^6 + 0.7004 \cdot 10^7)] \cdot [32 / (160 - 2 \cdot 32)] + 0 \cdot 32 = 0 \text{ H}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_c = 1$$

Изгибающий момент в рабочих условиях (внутреннее давление):

$$M_o = |((H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}) \cdot F_S| = |((4223 \cdot 32 + 2786 \cdot 33,09 + 9532 \cdot 27,18) \cdot 1,11 + 0) \cdot 1| = 539,9 \text{ H}_m$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в рабочих условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 539,9 / (1,64 \cdot 14^2 \cdot 82) = 20,48 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{1.5 \cdot S_{fo}; 2.5 \cdot S_{no}\}$$

$$\min \{1.5 \cdot S_{\text{сб}}; 2.5 \cdot S_{\text{нв}}\} = \min \{1.5 \cdot 154,6; 2.5 \cdot 174,4\} = 231,9 \text{ МПа}$$

$$20,48 \text{ МПа} \leq 231,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Радиальные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 \cdot 19 \cdot 0,03432 + 1) \cdot 539,9 / (1,64 \cdot 19^2 \cdot 82) = 20,77 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{fo}$$

$$20,77 \text{ МПа} \leq 154,6 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0.66845 + 5.7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,378 - 1) * (0.66845 + 5.7169 * 2,378^2 * \lg 2,378 / (2,378^2 - 1)) = 2,381$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,378^2 + 1) / (2,378^2 - 1) = 1,43$$

Касательные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,381 \cdot 539,9 / (19^2 \cdot 82) - 1,43 \cdot 20,77 = 13,74 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{f_0}$$

$$13,74 \text{ МПа} \leq 154,6 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (20,48 + 20,77) / 2 = 20,62 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{fo}$$

$$20,62 \text{ МПа} \leq 154,6 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

| | | | | | | | | | |
|--|---------|----------------|-------|--------------|------------------|--------------|--|----------------|--|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | Взам. инв. № | | Инв. № дубл. | | Подпись и дата | |
| <p>20,48 МПа ≤ 231,9 МПа, Условие прочности выполнено</p> <p>Радиальные напряжения во фланце, рабочие условия:</p> $S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 19 \cdot 0,03432 + 1) \cdot 539,9 / (1,64 \cdot 19^2 \cdot 82) = 20,77 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $S_R \leq S_{\text{до}}$ <p>20,77 МПа ≤ 154,6 МПа, Условие прочности выполнено</p> $Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,378 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 2,378^2 \cdot \lg 2,378 / (2,378^2 - 1)) = 2,381$ $Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,378^2 + 1) / (2,378^2 - 1) = 1,43$ <p>Касательные напряжения во фланце, рабочие условия:</p> $S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,381 \cdot 539,9 / (19^2 \cdot 82) - 1,43 \cdot 20,77 = 13,74 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $S_T \leq S_{\text{до}}$ <p>13,74 МПа ≤ 154,6 МПа, Условие прочности выполнено</p> $\frac{S_H + S_R}{2} = (20,48 + 20,77) / 2 = 20,62 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$ <p>20,62 МПа ≤ 154,6 МПа, Условие прочности выполнено</p> | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| | | | | | 71 | | | | |

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (20,48 + 13,74) / 2 = 17,11 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{f0}$$

17,11 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_{\xi} = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{b\xi} = (0,3238 \cdot 10^{-3} + 0,001152) / 2 \cdot 147,2 = 1,086 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\xi} = \frac{W_{\xi} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 1,086 \cdot 10^{-5} \cdot (160 - 105,6) \cdot 1,11 \cdot 1 / 2 = 3277 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 3277 / (1,64 \cdot 14^2 \cdot 82) = 124,3 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi g}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi g}\} = \min\{1,5 \cdot 163,3; 2,5 \cdot 183\} = 245 \text{ МПа}$$

124,3 МПа ≤ 245 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 19 \cdot 0,03432 + 1) \cdot 3277 / (1,64 \cdot 19^2 \cdot 82) = 126 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\xi g}$$

126 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,381 \cdot 3277 / (19^2 \cdot 82) - 1,43 \cdot 126 = 83,39 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\xi g}$$

83,39 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (124,3 + 126) / 2 = 125,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\xi g}$$

125,2 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (124,3 + 83,39) / 2 = 103,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\xi g}$$

103,9 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие прочности выполнено

Жесткость фланца

- для рабочих условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$K_R = 0,3$

| | | | | | |
|---|---------|----------------|--------------|---------------|------------------|
| Инов. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| <div>126 МПа ≤ 163,3 МПа, Условие прочности выполнено Касательные напряжения во фланце, условия монтажа: $S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,381 \cdot 3277 / (19^2 \cdot 82) - 1,43 \cdot 126 = 83,39 \text{ МПа}$ Условие прочности: $S_T \leq S_{\xi}$ 83,39 МПа ≤ 163,3 МПа, Условие прочности выполнено $\frac{S_H + S_R}{2} = (124,3 + 126) / 2 = 125,2 \text{ МПа}$ Условие прочности: $\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\xi}$ 125,2 МПа ≤ 163,3 МПа, Условие прочности выполнено $\frac{S_H + S_T}{2} = (124,3 + 83,39) / 2 = 103,9 \text{ МПа}$ Условие прочности: $\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\xi}$ 103,9 МПа ≤ 163,3 МПа, Условие прочности выполнено Условие прочности выполнено <i>Жесткость фланца</i> - для рабочих условий: Коэффициент жесткости для интегральных фланцев: K_R = 0.3</div> | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | |
| | | | | | Лист |
| | | | | | 72 |

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, рабочие условия):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot \xi_0^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 * 0,04862 * 539,9) / (1,64 * 1,96 \cdot 10^5 * 4^2 * 0,3 * 18,11) = 0,04898$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,04898 \leq 1.0$$

Условие жёсткости выполнено

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_g}{L \cdot E_{yg} \cdot \xi_0^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 * 0,04862 * 3277) / (1,64 * 1,99 \cdot 10^5 * 4^2 * 0,3 * 18,11) = 0,2928$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,2928 \leq 1.0$$

Условие жёсткости выполнено

Расчёт напряжений второго фланца:

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

Условие прочности выполнено

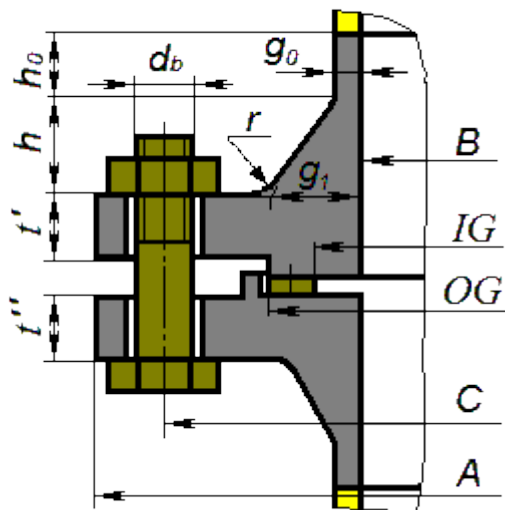
Жесткость фланца

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 73 |

Фланцевое соединение DN50

Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2



Исходные данные

Тип фланца: Приварные встык

Исполнение: Выступ-впадина

Теплоизоляция: Нет

Свободный/интегральный: -

Диаметр болтовой окружности, С: 125 мм

Данные первого фланца (кольца):

Смежный элемент: Отвод DN50

Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245)

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм

Толщина фланца (кольца), t: 17 мм

Сумма прибавок, с: 2 мм

Внешняя коррозия фланца, c_f : 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм

Длина конической части втулки, h: 22,5 мм

Длина цилиндрической части втулки, h_0 : 5,5 мм

Толщина цилиндрической части втулки, g_0 : 5 мм

Толщина конической части втулки, g_1 : 14 мм

Радиус перехода, г: 5 мм

Данные второго фланца (кольца):

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245)

| | | | | | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--|------|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Свободный/интегральный: - | |
| | | | | | Диаметр болтовой окружности, С: 125 мм | |
| 19786.4 | | | | | Данные первого фланца (кольца): | |
| | | | | | Смежный элемент: Отвод DN50 | |
| | | | | | Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 | |
| | | | | | Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245) | |
| | | | | | Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм | |
| | | | | | Толщина фланца (кольца), t: 17 мм | |
| | | | | | Сумма прибавок, с: 2 мм | |
| | | | | | Внешняя коррозия фланца, с _г : 0 мм | |
| | | | | | Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм | |
| | | | | | Длина конической части втулки, h: 22,5 мм | |
| | | | | | Длина цилиндрической части втулки, h ₀ : 5,5 мм | |
| | | | | | Толщина цилиндрической части втулки, g ₀ : 5 мм | |
| | | | | | Толщина конической части втулки, g ₁ : 14 мм | |
| | | | | | Радиус перехода, r: 5 мм | |
| | | | | | Данные второго фланца (кольца): | |
| | | | | | Смежный элемент: | |
| | | | | | Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 | |
| | | | | | Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245) | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | Лист |
| | | | | | | 74 |

Свойства материала смежного элемента фланца 1 Отвод DN50

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{no1}} = 174,4 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{ngl} = 183 \text{ MPa}$$

Свойства материала смежного элемента фланца 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{no2}} = 174,4 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{ng2}= 183 \text{ MPa}$$

Свойства материала фланца (кольца) 1

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{fol}} = \min(R_{\text{et}} / n_{\text{T}}; R_{\text{m}}^{20} / n_{\text{B}}) = \min\{231,9 / 1,5; 440 / 2,4\} = 154,6 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_1 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_1 = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{gl}} = \min(R_{\text{eff}} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min(245 / 1,5; 440 / 2,4) = 163,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{1=20}^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала фланца (кольца) 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{fo2} = \min(R_{e/t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{231,9 / 1,5; 440 / 2,4\} = 154,6 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_7 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_2 = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{92} = \min(R_{\text{eff}} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min(245 / 1,5; 440 / 2,4) = 163,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{\gamma}^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётные параметры первого фланца:

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):

$$B = B + 2 \cdot c = 48 + 2 \cdot 2 = 52 \text{ mm}$$

Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):

$$g_0 = g_0 - c = 5 - 2 = 3 \text{ mm}$$

Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:

$$g_1 = g_1 - c = 14 - 2 = 12 \text{ mm}$$

Толщина фланца, с учетом коррозии:

$$t = t - c_f = 17 - 0 = 17 \text{ MM}$$

Расчётные параметры второго фланца:

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

| | | | | | | |
|---------|------|----------|-------|------|------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | Лист |
| 19786.4 | | | | | E-4.00.00.000 PP | 76 |

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

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

Характеристики прокладки:

| | | | | | |
|---|----------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------|---|
| Тип и материал про- кладки | Прокладочный ко- эффициент, m | Давление об- жатия, у, МПа | Допускаемое удель- ное давление [q], МПа | Кoeffи- циент обжа- тияK | Условный мо- дуль сжатия E _n , МПа |
| Паронит по ГОСТ 481 при толщине не более 3 мм | 2,5 | 20 | 130 | 0,9 | 2000 |

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b₀, на основании возможной контактной ширины прокладки:

$$N = \frac{OG - IG}{2} = (87 - 57) / 2 = 15 \text{ мм}$$

Базовая контактная ширина прокладки:

$$b_0 = \frac{N}{2} = 15 / 2 = 7,5 \text{ мм}$$

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b₀, на основании возможной контактной ширины прокладки:

$$N = \frac{OG - IG}{2} = (87 - 57) / 2 = 15 \text{ мм}$$

Базовая контактная ширина прокладки:

$$b_0 = \frac{N}{2} = 15 / 2 = 7,5 \text{ мм}$$

Эффективная контактная ширина прокладки:

$$b = \begin{cases} b_0 & \text{если } b_0 \leq 6 \text{ мм} \\ 2,5 \cdot \sqrt{b_0} & \text{если } b_0 > 6 \text{ мм} \end{cases} = 6,847 \text{ мм}$$

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:

Если b₀ > 6 мм, G равно наружному диаметру контактирующей поверхности прокладки минус 2b:

$$G = OG - 2 \cdot b = 87 - 2 \cdot 6,847 = 73,31 \text{ мм}$$

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b₀, на основании возможной контактной ширины прокладки:

$$N = \frac{OG - IG}{2} = (87 - 57) / 2 = 15 \text{ мм}$$

Базовая контактная ширина прокладки:

$$b_0 = \frac{N}{2} = 15 / 2 = 7,5 \text{ мм}$$

Эффективная контактная ширина прокладки:

$$b = \begin{cases} b_0 & \text{если } b_0 \leq 6 \text{ мм} \\ 2,5 \cdot \sqrt{b_0} & \text{если } b_0 > 6 \text{ мм} \end{cases} = 6,847 \text{ мм}$$

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:

Если b₀ > 6 мм, G равно наружному диаметру контактирующей поверхности прокладки минус 2b:

$$G = OG - 2 \cdot b = 87 - 2 \cdot 6,847 = 73,31 \text{ мм}$$

Расчёт нагрузок

| | | | | |
|------------------|--------------|--------------|----------------|------|
| Изн. № подл. | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата | |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 77 |

Номинальный диаметр болта:

$$a = d_b = 16 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 \cdot 16 + 17))^{1/2} \} = 1,415$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 12 / 3 = 4$$

Коэффициент

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (52 \cdot 3)^{1/2} = 12,49 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 22,5 / 12,49 = 1,801$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,55$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,55 / 12,49 = 0,04404 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 52 = 3,077$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3,077^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,077) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 3,077^2) \cdot (3,077 - 1)) = 1,187$$

$$U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3,077^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,077) - 1) / (1,36136 \cdot (3,077^2 - 1) \cdot (3,077 - 1)) = 2,005$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,03074$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 2,005 / 0,03074 \cdot 12,49 \cdot 3^2 = 0,733 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (17 \cdot 0,04404 + 1) / 1,187 + 17^3 / 0,733 \cdot 10^{-5} = 2,143$$

Момент инерции сечения фланца при изгибе (интегральные фланцы с втулкой):

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 2,143 \cdot 3 \cdot 12,49 \cdot 52 / 0,03074 = 0,3561 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$G_{avg} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (3 + 12) = 7,5 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (160 - 52) = 54 \text{ мм}$$

Так как $t \geq G_{avg}$,

$$A_A = A_R = 54 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 17 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left(\frac{A_A}{B_B} \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left(\frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{B_B}{A_A} \right)^4 \right) \right] = (54 \cdot 17^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (17/54) \cdot (1 - 1/12 \cdot (17/54)^4)] = 0,7091 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$C_c = h = 22,5 \text{ мм}$$

| | | | | | |
|--------------|---------|----------------|--------------|--------------|------------------|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 PP |
| | | | | | Лист 79 |

$$D_{DG} = G_{\text{arg}} = 7,5 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left(C_c \cdot D_{DG}^3 \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left(\frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (22,5 \cdot 7,5^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (7,5 / 22,5) \cdot (1 - 1/192 \cdot (7,5 / 22,5)^4)] = (-0,158 \cdot 10^{-9}) \text{ м}^4$$

Полярный момент сечения фланца (интегральные фланцы, плоские фланцы с втулкой):

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,7091 \cdot 10^{-7} + (-0,158 \cdot 10^{-9}) = 0,7075 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Компонент проектного момента на фланце, как результат действия внешнего изгибающего момента и/или осевой силы:

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[\frac{I}{0,3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[\frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 282,8 \cdot [0,3561 \cdot 10^{-7} / (0,3846 \cdot 0,7075 \cdot 10^{-7} + 0,3561 \cdot 10^{-7})] \cdot [30,5 / (125 - 2 \cdot 30,5)] + 1200 \cdot 30,5 = 342,2 \text{ Н м}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Изгибающий момент в рабочих условиях (внутреннее давление):

$$M_o = \left[(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe} \right] \cdot F_S / l = [(1708 \cdot 30,5 + 1687 \cdot 31,17 + 6346 \cdot 25,85) \cdot 1,415 + 342,2] \cdot 1 / 1 = 722,6 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в рабочих условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 722,6 / (2,143 \cdot 12^2 \cdot 52) = 45,03 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{ 1,5 \cdot S_{fo}; 2,5 \cdot S_{no} \}$$

$$\min \{ 1,5 \cdot S_{fo}; 2,5 \cdot S_{no} \} = \min \{ 1,5 \cdot 154,6; 2,5 \cdot 174,4 \} = 231,9 \text{ МПа}$$

45,03 МПа ≤ 231,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 17 \cdot 0,04404 + 1) \cdot 722,6 / (2,143 \cdot 17^2 \cdot 52) = 44,78 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{fo}$$

44,78 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,077 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 3,077^2 \cdot \lg 3,077 / (3,077^2 - 1)) = 1,824$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,077^2 + 1) / (3,077^2 - 1) = 1,236$$

Касательные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,824 \cdot 722,6 / (17^2 \cdot 52) - 1,236 \cdot 44,78 = 32,35 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{fo}$$

32,35 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (45,03 + 44,78) / 2 = 44,91 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{fo}$$

44,91 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

| | | | | | | |
|--------------|---------|----------------|--------------|--------------|----------------|--|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | 45,03 МПа ≤ 231,9 МПа, Условие прочности выполнено |
| | | | | | | Радиальные напряжения во фланце, рабочие условия: |
| | | | | | | $S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 17 \cdot 0,04404 + 1) \cdot 722,6 / (2,143 \cdot 17^2 \cdot 52) = 44,78 \text{ МПа}$ |
| | | | | | | Условие прочности: |
| | | | | | | $S_R \leq S_{f0}$ |
| | | | | | | 44,78 МПа ≤ 154,6 МПа, Условие прочности выполнено |
| | | | | | | $Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,077 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 3,077^2 \cdot \lg 3,077 / (3,077^2 - 1)) = 1,824$ |
| | | | | | | $Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,077^2 + 1) / (3,077^2 - 1) = 1,236$ |
| | | | | | | Касательные напряжения во фланце, рабочие условия: |
| | | | | | | $S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,824 \cdot 722,6 / (17^2 \cdot 52) - 1,236 \cdot 44,78 = 32,35 \text{ МПа}$ |
| | | | | | | Условие прочности: |
| | | | | | | $S_T \leq S_{f0}$ |
| | | | | | | 32,35 МПа ≤ 154,6 МПа, Условие прочности выполнено |
| | | | | | | $\frac{S_H + S_R}{2} = (45,03 + 44,78) / 2 = 44,91 \text{ МПа}$ |
| | | | | | | Условие прочности: |
| | | | | | | $\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{f0}$ |
| | | | | | | 44,91 МПа ≤ 154,6 МПа, Условие прочности выполнено |
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Изм. |
| | | | | | | |
| | | | | | | № докум. |
| | | | | | | Подп. |
| | | | | | | Дата |
| | | | | | | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 80 |

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (45,03 + 32,35) / 2 = 38,69 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{f0}$$

38,69 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_{\xi} = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{b\xi} = (0,2142 \cdot 10^{-3} + 0,576 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 147,2 = 5,816 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\xi} = \frac{W_{\xi} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 5,816 \cdot 10^4 \cdot (125 - 73,31) \cdot 1,415 \cdot 1 / 2 = 2128 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2128 / (2,143 \cdot 12^2 \cdot 52) = 132,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi g}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi g}\} = \min\{1,5 \cdot 163,3; 2,5 \cdot 183\} = 245 \text{ МПа}$$

132,6 МПа ≤ 245 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 17 \cdot 0,04404 + 1) \cdot 2128 / (2,143 \cdot 17^2 \cdot 52) = 131,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\xi g}$$

131,9 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,824 \cdot 2128 / (17^2 \cdot 52) - 1,236 \cdot 131,9 = 95,27 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\xi g}$$

95,27 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (132,6 + 131,9) / 2 = 132,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\xi g}$$

132,2 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (132,6 + 95,27) / 2 = 113,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\xi g}$$

113,9 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие прочности выполнено

Жесткость фланца

- для рабочих условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$K_R = 0,3$

| | | | | | |
|--------------|---------|----------------|-------|----------------|------------------|
| Изн. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | Подпись и дата | |
| | | Взам. инв. № | | Изн. № дубл. | |
| | | Подпись и дата | | Подпись и дата | |
| | | Изн. № подл. | | Изн. № дубл. | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | Лист |
| | | | | | 81 |

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 * 0.03074 * 722.6) / (2.143 * 1.96 \cdot 10^5 * 3^2 * 0.3 * 12.49) = 0.08177$$

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_{\xi}}{L \cdot E_{vg} \cdot g_0^2 \cdot K_R \cdot h_0} = (52.14 * 0.03074 * 2128) / (2.143 * 1.99 \cdot 10^5 * 3^2 * 0.3 * 12.49) = 0.2372$$

Условие жёсткости выполнено

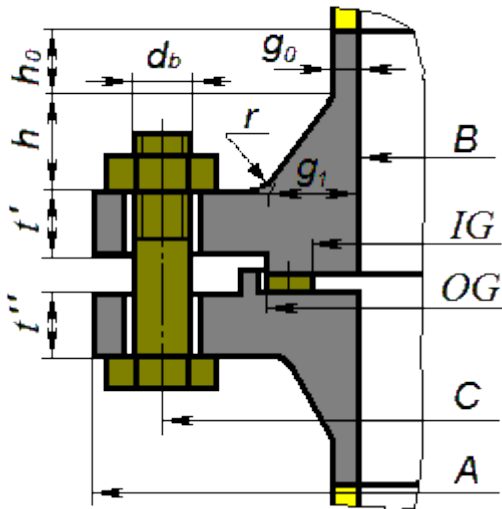
Условие прочности выполнено

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инва. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 82 |

Фланцевое соединение DN50-Rc1/2

Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2



Исходные данные

Тип фланца: Приварные встык

Исполнение: Выступ-впадина

Теплоизоляция: Нет

Свободный/интегральный: -

Диаметр болтовой окружности, С: 125 мм

Данные первого фланца (кольца):

Смежный элемент: Штуцер PI DN50

Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245)

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм

Толщина фланца (кольца), t: 17 мм

Сумма прибавок, с: 2 мм

Внешняя коррозия фланца, c_f : 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм

Длина конической части втулки, h: 22,5 мм

Длина цилиндрической части втулки, h_0 : 5,5 мм

Толщина цилиндрической части втулки, g_0 : 5 мм

Толщина конической части втулки, g_1 : 14 мм

Радиус перехода, r : 5 мм

Данные второго фланца (кольца):

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245)

| | | | | | | | | | | | |
|--|------|----------|-------|------|------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--|
| Изн. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 19786.4 | Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Свободный/интегральный: - |
| | | | | | | | | | | | Диаметр болтовой окружности, С: 125 мм |
| Данные первого фланца (кольца): | | | | | | | | | | | |
| Смежный элемент: Штуцер PI DN50 | | | | | | | | | | | |
| Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 | | | | | | | | | | | |
| Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245) | | | | | | | | | | | |
| Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм | | | | | | | | | | | |
| Толщина фланца (кольца), t: 17 мм | | | | | | | | | | | |
| Сумма прибавок, с: 2 мм | | | | | | | | | | | |
| Внешняя коррозия фланца, с _г : 0 мм | | | | | | | | | | | |
| Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм | | | | | | | | | | | |
| Длина конической части втулки, h: 22,5 мм | | | | | | | | | | | |
| Длина цилиндрической части втулки, h ₀ : 5,5 мм | | | | | | | | | | | |
| Толщина цилиндрической части втулки, g ₀ : 5 мм | | | | | | | | | | | |
| Толщина конической части втулки, g ₁ : 14 мм | | | | | | | | | | | |
| Радиус перехода, r: 5 мм | | | | | | | | | | | |
| Данные второго фланца (кольца): | | | | | | | | | | | |
| Смежный элемент: | | | | | | | | | | | |
| Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 | | | | | | | | | | | |
| Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245) | | | | | | | | | | | |
| | | | | | E-4.00.00.000 PP | | Лист | | | | |
| | | | | | | | 83 | | | | |

Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер PI DN50

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{пол}} = 174,4 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{ngl} = 183 \text{ MPa}$$

Свойства материала смежного элемента фланца 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{no2}} = 174,4 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{ng2} = 183 \text{ MPa}$$

Свойства материала фланца (кольца) 1

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{f01} = \min(R_{\text{eff}} / n_T; R_m^{20} / n_R) = \min\{231,9 / 1,5; 440 / 2,4\} = 154,6 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_1 = 1.96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_1 = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{opt}} = \min(R_{\text{eff}} / n_T; R_m^{20} / n_R) = \min\{245 / 1,5; 440 / 2,4\} = 163,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{1=20}^{20} = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала фланца (кольца) 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{fo2} = \min(R_{et} / n_T; R_m^{20} / n_R) = \min\{231,9 / 1,5; 440 / 2,4\} = 154,6 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_2 = 1.96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_2 = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\sigma 2} = \min(R_{\sigma/t} / n_T; R_m^{20} / n_R) = \min\{245 / 1,5; 440 / 2,4\} = 163,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{\gamma}^{20} = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётные параметры первого фланца:

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):

$$B = B + 2 \cdot c = 48 + 2 \cdot 2 = 52 \text{ mm}$$

Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):

$$g_0 = g_0 - c = 5 - 2 = 3 \text{ mm}$$

Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:

$$g_1 = g_1 - c = 14 - 2 = 12 \text{ mm}$$

Толщина фланца, с учетом коррозии:

$$t = t - c_f = 17 - 0 = 17 \text{ MM}$$

Расчётные параметры второго фланца:

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|-------|------|-------------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|---|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Изм. № подл. 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | <div>Свойства материала фланца (кольца) 2</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 50 °С (рабочие условия): $S_{f02} = \min(R_{e/t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{231,9 / 1,5; 440 / 2,4\} = 154,6 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 50 °С: $E_2 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 50 °С: $\alpha_2 = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$ Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 20 °С (рабочие условия): $S_{g2} = \min(R_{e/t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{245 / 1,5; 440 / 2,4\} = 163,3 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 20 °С: $E_{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ <div>Расчётные параметры первого фланца:</div><div>Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии): $B = B + 2 \cdot c = 48 + 2 \cdot 2 = 52 \text{ мм}$ Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык): $\xi_0 = \xi_0 - c = 5 - 2 = 3 \text{ мм}$ Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии: $\xi_1 = \xi_1 - c = 14 - 2 = 12 \text{ мм}$ Толщина фланца, с учетом коррозии: $t = t - c_f = 17 - 0 = 17 \text{ мм}$ <div>Расчётные параметры второго фланца:</div></div></div> |
| | | | | | | | | | | <div>E-4.00.00.000 PP</div> |

Лист
85

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):

$B = B + 2 \cdot c = 21 + 2 \cdot 2 = 25 \text{ мм}$

Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):

$\varnothing_0 = \varnothing_0 - c = 18,5 - 2 = 16,5 \text{ мм}$

Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:

$\varnothing_1 = \varnothing_1 - c = 27,5 - 2 = 25,5 \text{ мм}$

Толщина фланца, с учетом коррозии:

$t = t - c_f = 21 - 0 = 21 \text{ мм}$

Характеристики прокладки:

| Тип и материал прокладки | Прокладочный коэффициент, m | Давление обжатия, у, МПа | Допускаемое удельное давление [q], МПа | Коэффициент обжатия К | Условный модуль сжатия E _m , МПа |
|---|-----------------------------|--------------------------|--|-----------------------|---|
| Паронит по ГОСТ 481 при толщине не более 3 мм | 2,5 | 20 | 130 | 0,9 | 2000 |

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b₀, на основании возможной контактной ширины прокладки:

$N = \frac{OG - IG}{2} = (87 - 57) / 2 = 15 \text{ мм}$

Базовая контактная ширина прокладки:

$b_0 = \frac{N}{2} = 15 / 2 = 7,5 \text{ мм}$

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b₀, на основании возможной контактной ширины прокладки:

$N = \frac{OG - IG}{2} = (87 - 57) / 2 = 15 \text{ мм}$

Базовая контактная ширина прокладки:

$b_0 = \frac{N}{2} = 15 / 2 = 7,5 \text{ мм}$

Эффективная контактная ширина прокладки:

$b = \begin{cases} b_0 & \text{если } b_0 \leq 6 \text{ мм} \\ 2,5 \cdot \sqrt{b_0} & \text{если } b_0 > 6 \text{ мм} \end{cases} = 6,847 \text{ мм}$

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:

Если b₀ > 6 мм, G равно наружному диаметру контактирующей поверхности прокладки минус 2b:

$G = OG - 2 \cdot b = 87 - 2 \cdot 6,847 = 73,31 \text{ мм}$

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b₀, на основании возможной контактной ширины прокладки:

$N = \frac{OG - IG}{2} = (87 - 57) / 2 = 15 \text{ мм}$

Базовая контактная ширина прокладки:

$b_0 = \frac{N}{2} = 15 / 2 = 7,5 \text{ мм}$

Эффективная контактная ширина прокладки:

| | | | | | | |
|--------------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------------|------|
| Инов. № подл. 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | Лист |
| | | | | | | 86 |

$$b = \begin{cases} b_0 & \text{если } b_0 \leq 6 \text{ мм} \\ 2,5 \cdot \sqrt{b_0} & \text{если } b_0 > 6 \text{ мм} \end{cases} = 6,847 \text{ мм}$$

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:

Если $b_0 > 6$ мм, G равно наружному диаметру контактирующей поверхности прокладки минус $2b$:

$$G = OG - 2 \cdot b = 87 - 2 \cdot 6,847 = 73,31 \text{ мм}$$

Расчёт нагрузок

Проектная болтовая нагрузка для рабочих условий (для несамоуплотняющихся прокладок):

$$W_0 = 0,785 \cdot G^2 \cdot p + 2 \cdot b \cdot \pi \cdot G \cdot m \cdot p = 0,785 \cdot 73,31^2 \cdot 0,8 + 2 \cdot 6,847 \cdot 3,142 \cdot 73,31 \cdot 2,5 \cdot 0,8 = 9682 \text{ Н}$$

Величина растягивающей внешней силы:

$$F_A = 0 \text{ Н}$$

Сжимающими нагрузками пренебрегают, и в этом случае F_A приравнивается нулю.

Внешний изгибающий момент:

$$M_E = 0 \text{ Н м}$$

$$W_{gs} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y = 3,142 \cdot 6,847 \cdot 73,31 \cdot 20 = 3,154 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Общая расчетная площадь сечения болтов:

$$A_m = \max \left[\frac{W_0 + F_A + \frac{4 \cdot M_E}{G}}{S_{b0}}; \frac{W_{gs}}{S_{bg}} \right] = \max[(9682 + 0 + 4 \cdot 0 / 73,31) / 147,2; 3,154 \cdot 10^4 / 147,2] = 0,2142 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Диаметр сечения болта (шпильки) с учетом коррозии:

$$d_{bc} = 16 \text{ мм}$$

Площадь сечения болта (шпильки) (по внутреннему диаметру резьбы с учетом коррозии):

$$f_0 = 0,144 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или минимальному диаметру стержня:

$$A_b = n \cdot f_0 = 4 \cdot 0,144 \cdot 10^{-3} = 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Расчёт болтов(шпилек):

Условие прочности болтов:

$$A_m \leq A_b$$

$$0,2142 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \leq 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Условие прочности выполнено

Расчёт напряжений первого фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot p = 0,785 \cdot 52^2 \cdot 0,8 = 1698 \text{ Н}$$

Плечо момента для силы H_D (фланцы интегрального типа, или другие, рассчитываемые аналогично):

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (125 - 52 - 12) / 2 = 30,5 \text{ мм}$$

Равнодействующая давления:

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot p = 0,785 \cdot 73,31^2 \cdot 0,8 = 3375 \text{ Н}$$

Разница между общей равнодействующей давления и равнодействующей на внутренней поверхности фланца:

$$H_T = H - H_D = 3375 - 1698 = 1677 \text{ Н}$$

Радиальное расстояние от реакции прокладки до болтовой окружности:

$$h_G = \frac{C - G}{2} = (125 - 73,31) / 2 = 25,85 \text{ мм}$$

| | | | | |
|------------------|----------------|---------------|--------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Инов. № дубл. | Взам. инв. № | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 87 |

Плечо для нагрузки H_T (интегральные фланцы, а также иные, рассчитываемые аналогично):

$$h_T = \frac{1}{2} \left[\frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 * [(125 - 52) / 2 + 25,85] = 31,17 \text{ мм}$$

Нагрузка на прокладку (разница между проектной болтовой нагрузкой и равнодействующей давления), в рабочих:

$$H_G = W_0 - H = 9682 - 3375 = 6307 \text{ Н}$$

Болтовой интервал:

$$B_S = \frac{\pi \cdot C}{n} = 3,142 * 125 / 4 = 98,17 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр болта:

$$a = d_b = 16 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 * 16 + 17))^{1/2} \} = 1,415$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 12 / 3 = 4$$

Коэффициент

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (52 * 3)^{1/2} = 12,49 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 22,5 / 12,49 = 1,801$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,55$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,55 / 12,49 = 0,04404 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 52 = 3,077$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3,077^2 * (1 + 8,55246 * \lg 3,077) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 * 3,077^2) * (3,077 - 1)) = 1,187$$

$$U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3,077^2 * (1 + 8,55246 * \lg 3,077) - 1) / (1,36136 * (3,077^2 - 1) * (3,077 - 1)) = 2,005$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,03074$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 2,005 / 0,03074 * 12,49 * 3^2 = 0,733 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (17 * 0,04404 + 1) / 1,187 + 17^3 / 0,733 \cdot 10^{-5} = 2,143$$

Момент инерции сечения фланца при изгибе (интегральные фланцы с втулкой):

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 * 2,143 * 3 * 12,49 * 52 / 0,03074 = 0,3561 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$G_{wg} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 * (3 + 12) = 7,5 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 * (160 - 52) = 54 \text{ мм}$$

Так как $t \geq G_{wg}$,

| | | | | | |
|---------------|---------|----------------|-------|------|---|
| Инов. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | | |
| | | Взам. инв. № | | | |
| | | Инов. № дубл. | | | |
| | | Подпись и дата | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <div>Е-4.00.00.000 РР</div> <div>88</div> |

$$A_A = A_R = 54 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 17 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left(A_A \cdot B_B^3 \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 0.21 \cdot \left(\frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (54 * 17^3) * [1/3 - 0.21 * (17/54) * (1 - 1/12 * \{17/54\}^4)] = 0,7091 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 22,5 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{\text{avg}} = 7,5 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left(C_C \cdot D_{DG}^3 \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 1.05 \cdot \left(\frac{D_{DG}}{C_C} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_C} \right\}^4 \right) \right] = (22,5 * 7,5^3) * [1/3 - 1.05 * (7,5/22,5) * (1 - 1/192 * \{7,5/22,5\}^4)] = (-0,158 \cdot 10^{-9}) \text{ м}^4$$

Полярный момент сечения фланца (интегральные фланцы, плоские фланцы с втулкой):

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,7091 \cdot 10^{-7} + (-0,158 \cdot 10^{-9}) = 0,7075 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Компонент проектного момента на фланце, как результат действия внешнего изгибающего момента и/или осевой силы:

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[\frac{I}{0.3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[\frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 * 0 * [0,3561 \cdot 10^{-7} / (0.3846 * 0,7075 \cdot 10^{-7} + 0,3561 \cdot 10^{-7})] * [30,5 / (125 - 2 * 30,5)] + 0 * 30,5 = 0 \text{ Н м}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Изгибающий момент в рабочих условиях (внутреннее давление):

$$M_o = \left[(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe} \right] \cdot F_S = [(1698 * 30,5 + 1677 * 31,17 + 6307 * 25,85) * 1,415 + 0] * 1 = 378 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в рабочих условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 * 378 / (2,143 * 12^2 * 52) = 23,56 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{ 1.5 \cdot S_{f0}; 2.5 \cdot S_{no} \}$$

$$\min \{ 1.5 \cdot S_{f0}; 2.5 \cdot S_{no} \} = \min \{ 1.5 * 154,6; 2.5 * 174,4 \} = 231,9 \text{ МПа}$$

23,56 МПа ≤ 231,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 * 17 * 0,04404 + 1) * 378 / (2,143 * 17^2 * 52) = 23,43 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{f0}$$

23,43 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0.66845 + 5.7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,077 - 1) * (0.66845 + 5.7169 * 3,077^2 * \lg 3,077 / (3,077^2 - 1)) = 1,824$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,077^2 + 1) / (3,077^2 - 1) = 1,236$$

Касательные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,824 * 378 / (17^2 * 52) - 1,236 * 23,43 = 16,93 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{f0}$$

| | | | | | |
|--------------|---------|----------------|-------|------|------------------|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | | |
| | | Инв. № дубл. | | | |
| | | Взам. инв. № | | | |
| | | Подпись и дата | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | Лист 89 |

16,93 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (23,56 + 23,43) / 2 = 23,49 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{f0}$$

23,49 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (23,56 + 16,93) / 2 = 20,24 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{f0}$$

20,24 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{bg} = (0,2142 \cdot 10^{-3} + 0,576 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 147,2 = 5,816 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_g = \frac{W_g \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_S}{2} = 5,816 \cdot 10^4 \cdot (125 - 73,31) \cdot 1,415 \cdot 1 / 2 = 2128 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2128 / (2,143 \cdot 12^2 \cdot 52) = 132,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{fg}; 2,5 \cdot S_{ng}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{fg}; 2,5 \cdot S_{ng}\} = \min\{1,5 \cdot 163,3; 2,5 \cdot 183\} = 245 \text{ МПа}$$

132,6 МПа ≤ 245 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 17 \cdot 0,04404 + 1) \cdot 2128 / (2,143 \cdot 17^2 \cdot 52) = 131,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{fg}$$

131,9 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,824 \cdot 2128 / (17^2 \cdot 52) - 1,236 \cdot 131,9 = 95,27 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{fg}$$

95,27 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (132,6 + 131,9) / 2 = 132,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{fg}$$

132,2 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (132,6 + 95,27) / 2 = 113,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

| | | | | | |
|--------------|---------|----------------|--------------|--------------|------------------|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | |

Лист 90

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{гб}}$$

113,9 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**
Условие прочности выполнено

Жесткость фланца

- для рабочих условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$$K_R = 0.3$$

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, рабочие условия):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 * 0.03074 * 378) / (2.143 * 1.96 \cdot 10^5 * 3^2 * 0.3 * 12.49) = 0.04278$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0.04278 \leq 1.0$$

Условие жёсткости выполнено

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_{\text{гб}}}{L \cdot E_{y\text{гб}} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 * 0.03074 * 2128) / (2.143 * 1.99 \cdot 10^5 * 3^2 * 0.3 * 12.49) = 0.2372$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0.2372 \leq 1.0$$

Условие жёсткости выполнено

Расчёт напряжений второго фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0.785 \cdot B^2 \cdot p = 0.785 * 25^2 * 0.8 = 392.5 \text{ Н}$$

Плечо момента для силы H_D (фланцы интегрального типа, или другие, рассчитываемые аналогично):

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (125 - 25 - 25.5) / 2 = 37.25 \text{ мм}$$

Разница между общей равнодействующей давления и равнодействующей на внутренней поверхности фланца:

$$H_T = H - H_D = 3375 - 392.5 = 2982 \text{ Н}$$

Плечо для нагрузки H_T (интегральные фланцы, а также иные, рассчитываемые аналогично):

$$h_T = \frac{1}{2} \left[\frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 * [(125 - 25) / 2 + 25.85] = 37.92 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98.17 / (2 * 16 + 21))^{1/2} \} = 1.361$$

$$X_{\text{гб}} = \frac{g_1}{g_o} = 25.5 / 16.5 = 1.545$$

Коэффициент

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o} = (25 * 16.5)^{1/2} = 20.31 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 22.5 / 20.31 = 1.108$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0.7834$$

Расчетные коэффициенты:

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 91 |

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,7834 / 20,31 = 0,03857 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 25 = 6,4$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (6,4^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 6,4) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 6,4^2) \cdot (6,4 - 1)) = 0,7397$$

$$U = \frac{K^2 (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (6,4^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 6,4) - 1) / (1,36136 \cdot (6,4^2 - 1) \cdot (6,4 - 1)) = 1,097$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,2334$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 1,097 / 0,2334 \cdot 20,31 \cdot 16,5^2 = 0,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (21 \cdot 0,03857 + 1) / 0,7397 + 21^3 / 0,26 \cdot 10^{-4} = 2,803$$

Момент инерции сечения фланца при изгибе (интегральные фланцы с втулкой):

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 2,803 \cdot 16,5 \cdot 20,31 \cdot 25 / 0,2334 = 0,1451 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$G_{\text{шг}} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (16,5 + 25,5) = 21 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (160 - 25) = 67,5 \text{ мм}$$

Так как $t \geq G_{\text{шг}}$,

$$A_A = A_R = 67,5 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 21 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left(A_A \cdot B_B^3 \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left(\frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (67,5 \cdot 21^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (21/67,5) \cdot (1 - 1/12 \cdot \{21/67,5\}^4)] = 0,1676 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 22,5 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{\text{шг}} = 21 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left(C_C \cdot D_{DG}^3 \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left(\frac{D_{DG}}{C_C} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_C} \right\}^4 \right) \right] = (22,5 \cdot 21^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (21/22,5) \cdot (1 - 1/192 \cdot \{21/22,5\}^4)] = (-0,1339 \cdot 10^{-6}) \text{ м}^4$$

Полярный момент сечения фланца (интегральные фланцы, плоские фланцы с втулкой):

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,1676 \cdot 10^{-6} + (-0,1339 \cdot 10^{-6}) = 0,3362 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Компонент проектного момента на фланце, как результат действия внешнего изгибающего момента и/или осевой силы:

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[\frac{I}{0,3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[\frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 0 \cdot [0,1451 \cdot 10^{-6} / (0,3846 \cdot 0,3362 \cdot 10^{-7} + 0,1451 \cdot 10^{-6})] \cdot [37,25 / (125 - 2 \cdot 37,25)] + 0 \cdot 37,25 = 0 \text{ Н м}$$

Изгибающий момент в рабочих условиях (внутреннее давление):

$$M_o = \left[(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe} \right] \cdot F_S = [(392,5 \cdot 37,25 + 2982 \cdot 37,92 + 6307 \cdot 25,85) \cdot 1,361 + 0] \cdot 1 = 395,7 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в рабочих условиях:

| | | | | | |
|--------------|---------|----------------|-------|------|------------------|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | | |
| | | Инв. № дубл. | | | |
| | | Взам. инв. № | | | |
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | | |
| | | Инв. № дубл. | | | |
| | | Взам. инв. № | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР |
| | | | | | Лист 92 |

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 395,7 / (2,803 \cdot 25,5^2 \cdot 25) = 8,683 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{fo}; 2,5 \cdot S_{no}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{fo}; 2,5 \cdot S_{no}\} = \min\{1,5 \cdot 154,6; 2,5 \cdot 174,4\} = 231,9 \text{ МПа}$$

8,683 МПа ≤ 231,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 21 \cdot 0,03857 + 1) \cdot 395,7 / (2,803 \cdot 21^2 \cdot 25) = 26,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{fo}$$

26,6 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (6,4 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 6,4^2 \cdot \lg 6,4 / (6,4^2 - 1)) = 0,9986$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (6,4^2 + 1) / (6,4^2 - 1) = 1,05$$

Касательные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 0,9986 \cdot 395,7 / (21^2 \cdot 25) - 1,05 \cdot 26,6 = 7,914 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{fo}$$

7,914 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (8,683 + 26,6) / 2 = 17,64 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{fo}$$

17,64 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (8,683 + 7,914) / 2 = 8,299 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{fo}$$

8,299 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_g = \frac{W_g \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 5,816 \cdot 10^4 \cdot (125 - 73,31) \cdot 1,361 \cdot 1 / 2 = 2046 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2046 / (2,803 \cdot 25,5^2 \cdot 25) = 44,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

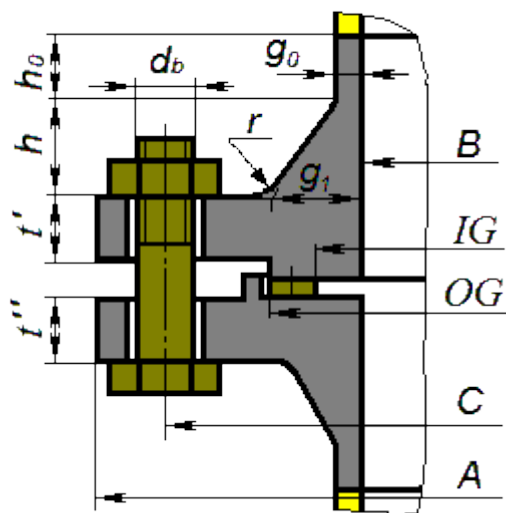
$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{fg}; 2,5 \cdot S_{ng}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{fg}; 2,5 \cdot S_{ng}\} = \min\{1,5 \cdot 163,3; 2,5 \cdot 183\} = 245 \text{ МПа}$$

44,9 МПа ≤ 245 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

| | | | | | | | |
|--------------|---------|----------------|--------------|--------------|------------------|--|------|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | $\frac{(8,683 + 20,0) / 2}{2} = 17,64 \text{ МПа}$ | |
| | | | | | | Условие прочности: | |
| | | | | | | $\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{fb}$ | |
| | | | | | | $17,64 \text{ МПа} \leq 154,6 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$ | |
| | | | | | | $\frac{S_H + S_T}{2} = (8,683 + 7,914) / 2 = 8,299 \text{ МПа}$ | |
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Условие прочности: | |
| | | | | | | $\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{fb}$ | |
| | | | | | | $8,299 \text{ МПа} \leq 154,6 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$ | |
| | | | | | | Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление): | |
| | | | | | | $M_{\xi} = \frac{W_{\xi} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 5,816 \cdot 10^4 \cdot (125 - 73,31) \cdot 1,361 \cdot 1 / 2 = 2046 \text{ Н м}$ | |
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа: | |
| | | | | | | $S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot \xi_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2046 / (2,803 \cdot 25,5^2 \cdot 25) = 44,9 \text{ МПа}$ | |
| | | | | | | Условие прочности: | |
| | | | | | | $S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi g}\}$ | |
| | | | | | | $\min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi g}\} = \min\{1,5 \cdot 163,3; 2,5 \cdot 183\} = 245 \text{ МПа}$ | |
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | $44,9 \text{ МПа} \leq 245 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$ | |
| | | | | | | Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа: | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | | Лист |
| | | | | | | | 93 |



Исходные данные

Тип фланца: Приварные встык

Исполнение: Выступ-впадина

Теплоизоляция: Нет

Свободный/интегральный: -

Диаметр болтовой окружности, С: 85 мм

Данные первого фланца (кольца):

Смежный элемент: Отвод DN25

Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245)

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 115 мм

Толщина фланца (кольца), t: 14 мм

Сумма прибавок, с: 2 мм

Внешняя коррозия фланца, c_f : 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 25 мм

Длина конической части втулки, h: 15 мм

Длина цилиндрической части втулки, h_0 : 7 мм

Толщина цилиндрической части втулки, g_0 : 4 мм

Толщина конической части втулки, g_1 : 10 мм

Радиус перехода, г: 5 мм

Данные второго фланца (кольца):

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245)

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 115 мм

Толщина фланца (кольца), t: 14 мм

Сумма прибавок, с: 2 мм

| | | | | | | | | |
|--------------|---------|----------------|--------------|--------------|----------------|---|---------------------|------|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Смежный элемент: | Отвод DN25 | |
| | | | | | | Материал смежного элемента: | 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 | |
| | | | | | | Материал фланца (кольца): | 09Г2С (КП245) | |
| | | | | | | Наружный диаметр фланца (кольца), А: | 115 мм | |
| | | | | | | Толщина фланца (кольца), t: | 14 мм | |
| | | | | | | Сумма прибавок, с: | 2 мм | |
| | | | | | | Внешняя коррозия фланца, с _г : | 0 мм | |
| | | | | | | Внутренний диаметр фланца, В: | 25 мм | |
| | | | | | | Длина конической части втулки, h: | 15 мм | |
| | | | | | | Длина цилиндрической части втулки, h ₀ : | 7 мм | |
| | | | | | | Толщина цилиндрической части втулки, g ₀ : | 4 мм | |
| | | | | | | Толщина конической части втулки, g ₁ : | 10 мм | |
| | | | | | | Радиус перехода, r: | 5 мм | |
| | | | | | | Данные второго фланца (кольца): | | |
| | | | | | | Смежный элемент: | | |
| | | | | | | Материал смежного элемента: | 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 | |
| | | | | | | Материал фланца (кольца): | 09Г2С (КП245) | |
| | | | | | | Наружный диаметр фланца (кольца), А: | 115 мм | |
| | | | | | | Толщина фланца (кольца), t: | 14 мм | |
| | | | | | | Сумма прибавок, с: | 2 мм | |
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | | Е-4.00.00.000 РР | Лист |
| | | | | | | | | 95 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | | | |

| | |
|--|-------|
| Внешняя коррозия фланца, c_f : | 0 мм |
| Внутренний диаметр фланца, В: | 25 мм |
| Длина конической части втулки, h: | 15 мм |
| Длина цилиндрической части втулки, h_0 : | 7 мм |
| Толщина цилиндрической части втулки, g_0 : | 4 мм |
| Толщина конической части втулки, g_1 : | 10 мм |
| Радиус перехода, r: | 5 мм |

Шпильки:

| | |
|---------------------------|--------|
| Материал: | 20ХН3А |
| Наружный диаметр, d_b : | 12 мм |
| Количество, n : | 4 |

Радиальная коррозия крепежа, c_r : 0 мм

Прокладка:

Материал прокладки: Паронит по ГОСТ 481 при толщине не более 3 мм

Толщина, $h_{\text{п}}$: 2 мм

Наружный диаметр, OG: 57 мм

Внутренний диаметр, IG: 29 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 1200 Н

Расчётный изгибающий момент, М: 282,8 Н м

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,8049 МПа

Расчётная температура элементов соединения:

Температура фланца (кольца), $t_{\text{ф}}$: 50 °C

Температура фланца (кольца), $t_{\text{ф}}$: 50 °C

Температура болтов (шпилек), t_b : 50 °C

Свойства материала болтов (шпилек)

Допускаемые напряжения для материала 20ХН3А при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590/4; 736/5; 579/1,5; 726/4) = 147,2 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 20ХН3А при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_6 = 2,12 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 20ХН3А при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_6 = 0,115 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 20ХН3А при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_a = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{R20}; R_e^{20} / n_T\} = \min(590/4; 736/5; 590/1,5) = 147,2 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 20ХН3А при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{\sigma}^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала смежного элемента фланца 1 Отвод DN25

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{no1}} = 174,4 \text{ МПа}$$

| | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|---|------|------|----------|-------|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 1200 Н | | | | |
| | | | | | Расчётный изгибающий момент, M: 282,8 Н м | | | | |
| 19786.4 | | | | | Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,8049 МПа | | | | |
| | | | | | Расчётная температура элементов соединения: | | | | |
| | | | | | Температура фланца (кольца), t _ф : 50 °C | | | | |
| | | | | | Температура фланца (кольца), t _ф : 50 °C | | | | |
| | | | | | Температура болтов (шпилек), t _б : 50 °C | | | | |
| | | | | | Свойства материала болтов (шпилек) | | | | |
| | | | | | Допускаемые напряжения для материала 20ХН3А при температуре T = 50 °C (рабочие условия): | | | | |
| | | | | | $S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 579 / 1,5; 726 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$ | | | | |
| | | | | | Модуль продольной упругости для материала 20ХН3А при температуре T = 50 °C: | | | | |
| | | | | | E _б = 2,12·10 ⁵ МПа | | | | |
| | | | | | Коэффициент линейного расширения для материала 20ХН3А при температуре T = 50 °C: | | | | |
| | | | | | α _б = 0,115·10 ⁻⁴ °C | | | | |
| | | | | | Допускаемые напряжения для материала 20ХН3А при температуре T = 20 °C (рабочие условия): | | | | |
| | | | | | $S_a = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e^{20} / n_T\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 590 / 1,5) = 147,2 \text{ МПа}$ | | | | |
| | | | | | Модуль продольной упругости для материала 20ХН3А при температуре T = 20 °C: | | | | |
| | | | | | E ²⁰ _б = 2,15·10 ⁵ МПа | | | | |
| | | | | | Свойства материала смежного элемента фланца 1 Отвод DN25 | | | | |
| | | | | | Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 50 °C (рабочие условия): | | | | |
| | | | | | S _{но1} = 174,4 МПа | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | E-4.00.00.000 PP | | | | |
| | | | | | | Изм. | Лист | № докум. | Подп. |
| 19786.4 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С (рабочие условия):
S_{нг1}= 183 МПа

Свойства материала смежного элемента фланца 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 50 °С (рабочие условия):
S_{но2}= 174,4 МПа
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С (рабочие условия):
S_{нг2}= 183 МПа

Свойства материала фланца (кольца) 1

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 50 °С (рабочие условия):
S_{fo1}= min(R_{e/t} / n_T; R_m²⁰ / n_B) = min{231,9 / 1,5; 440 / 2,4}= 154,6 МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 50 °С:
E₁= 1,96·10⁵ МПа
Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 50 °С:
α₁= 0,116·10⁻⁴ °С
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 20 °С (рабочие условия):
S_{g1}= min(R_{e/t} / n_T; R_m²⁰ / n_B) = min{245 / 1,5; 440 / 2,4}= 163,3 МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 20 °С:
E²⁰₁= 1,99·10⁵ МПа

Свойства материала фланца (кольца) 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 50 °С (рабочие условия):
S_{fo2}= min(R_{e/t} / n_T; R_m²⁰ / n_B) = min{231,9 / 1,5; 440 / 2,4}= 154,6 МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 50 °С:
E₂= 1,96·10⁵ МПа
Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 50 °С:
α₂= 0,116·10⁻⁴ °С
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 20 °С (рабочие условия):
S_{g2}= min(R_{e/t} / n_T; R_m²⁰ / n_B) = min{245 / 1,5; 440 / 2,4}= 163,3 МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) при температуре T = 20 °С:
E²⁰₂= 1,99·10⁵ МПа

Расчётные параметры первого фланца:

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):
B = B + 2 · c = 25 + 2 · 2 = 29 мм
Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):
ξ₀ = ξ₀ - c = 4 - 2 = 2 мм
Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:
ξ₁ = ξ₁ - c = 10 - 2 = 8 мм
Толщина фланца, с учетом коррозии:
t = t - c_f = 14 - 0 = 14 мм

Расчётные параметры второго фланца:

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

Характеристики прокладки:

| | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------------|------|----------|-------|------|------|
| Инов. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата | Е-4.00.00.000 РР | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | | 97 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | |

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (66,76 / (2 \cdot 12 + 14))^{1/2} \} = 1,325$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 8 / 2 = 4$$

Коэффициент

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = (29 \cdot 2)^{1/2} = 7,616 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_0} = 15 / 7,616 = 1,97$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,531$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_0} = 0,531 / 7,616 = 0,06973 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 115 / 29 = 3,966$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3,966^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,966) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 3,966^2) \cdot (3,966 - 1)) = 1,015$$

$$U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3,966^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,966) - 1) / (1,36136 \cdot (3,966^2 - 1) \cdot (3,966 - 1)) = 1,601$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,02872$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 = 1,601 / 0,02872 \cdot 7,616 \cdot 2^2 = 0,1699 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (14 \cdot 0,06973 + 1) / 1,015 + 14^3 / 0,1699 \cdot 10^{-5} = 3,563$$

Момент инерции сечения фланца при изгибе (интегральные фланцы с втулкой):

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_0 \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 3,563 \cdot 2 \cdot 7,616 \cdot 29 / 0,02872 = 0,9579 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

$$G_{avg} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (2 + 8) = 5 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (115 - 29) = 43 \text{ мм}$$

Так как $t \geq G_{avg}$,

$$A_A = A_R = 43 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 14 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[\frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left(\frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (43 \cdot 14^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (14/43) \cdot (1 - 1/12 \cdot \{14/43\}^4)] = 0,3127 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 15 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{avg} = 5 \text{ мм}$$

| | | | | | |
|--------------|---------|----------------|-------|------|------------------|
| Инв. № подл. | 19786.4 | Подпись и дата | | | |
| | | Инв. № дубл. | | | |
| | | Взам. инв. № | | | |
| | | Подпись и дата | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 PP |
| | | | | | |
| | | | | | Лист |
| | | | | | 100 |

$$K_{CD} = \left\{ C_c \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[\frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left(\frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (15 \cdot 5^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (5/15) \cdot (1 - 1/192 \cdot (5/15)^4)] = (-0,3121 \cdot 10^{-10}) \text{ м}^4$$

Полярный момент сечения фланца (интегральные фланцы, плоские фланцы с втулкой):

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,3127 \cdot 10^{-7} + (-0,3121 \cdot 10^{-10}) = 0,3124 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Компонент проектного момента на фланце, как результат действия внешнего изгибающего момента и/или осевой силы:

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[\frac{I}{0,3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[\frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 282,8 \cdot [0,9579 \cdot 10^{-8} / (0,3846 \cdot 0,3124 \cdot 10^{-7} + 0,9579 \cdot 10^{-8})] \cdot [24 / (85 - 2 \cdot 24)] + 1200 \cdot 24 = 354,3 \text{ Н м}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Изгибающий момент в рабочих условиях (внутреннее давление):

$$M_o = \left[(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe} \right] \cdot F_S = [(531,4 \cdot 24 + 679,2 \cdot 24,31 + 3660 \cdot 20,61) \cdot 1,325 + 354,3] \cdot 1 = 493,2 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в рабочих условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 493,2 / (3,563 \cdot 8^2 \cdot 29) = 74,58 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{ 1,5 \cdot S_{fo}; 2,5 \cdot S_{no} \}$$

$$\min \{ 1,5 \cdot S_{fo}; 2,5 \cdot S_{no} \} = \min \{ 1,5 \cdot 154,6; 2,5 \cdot 174,4 \} = 231,9 \text{ МПа}$$

74,58 МПа ≤ 231,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 14 \cdot 0,06973 + 1) \cdot 493,2 / (3,563 \cdot 14^2 \cdot 29) = 55,97 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{fo}$$

55,97 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,966 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 3,966^2 \cdot \lg 3,966 / (3,966^2 - 1)) = 1,457$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,966^2 + 1) / (3,966^2 - 1) = 1,136$$

Касательные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,457 \cdot 493,2 / (14^2 \cdot 29) - 1,136 \cdot 55,97 = 62,85 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{fo}$$

62,85 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (74,58 + 55,97) / 2 = 65,28 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{fo}$$

65,28 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|---------|------|------|----------|-------|------|------------------|------|-----|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Изн. № дубл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата | Изн. № подл. | 19786.4 | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | E-4.00.00.000 PP | Лист | 101 |
|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|---------|------|------|----------|-------|------|------------------|------|-----|

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (74,58 + 62,85) / 2 = 68,71 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{f0}$$

68,71 МПа ≤ 154,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_{\xi} = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{b\xi} = (0,2168 \cdot 10^{-3} + 0,3048 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 147,2 = 3,839 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\xi} = \frac{W_{\xi} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 3,839 \cdot 10^4 \cdot (85 - 43,77) \cdot 1,325 \cdot 1 / 2 = 1049 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 1049 / (3,563 \cdot 8^2 \cdot 29) = 158,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi R}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi R}\} = \min\{1,5 \cdot 163,3; 2,5 \cdot 183\} = 245 \text{ МПа}$$

158,6 МПа ≤ 245 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 14 \cdot 0,06973 + 1) \cdot 1049 / (3,563 \cdot 14^2 \cdot 29) = 119,1 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\xi R}$$

119,1 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,457 \cdot 1049 / (14^2 \cdot 29) - 1,136 \cdot 119,1 = 133,7 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\xi g}$$

133,7 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (158,6 + 119,1) / 2 = 138,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\xi g}$$

138,9 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (158,6 + 133,7) / 2 = 146,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\xi g}$$

146,2 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие прочности выполнено

Жесткость фланца

- для рабочих условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$K_R = 0,3$

| | | | | |
|------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Изн. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Изн. № дубл. | Подпись и дата |
| 19786.4 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Е-4.00.00.000 РР | | | | Лист |
| | | | | 102 |

Список литературы

- 1) ГОСТ Р 52630-2012. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия
- 2) ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- 3) ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
- 4) ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
- 5) ГОСТ Р 52857.4-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- 6) ГОСТ Р 51273-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий.
- 7) ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.
- 8) СА 03-003-07. Расчет на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов. Стандарт ассоциации экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности "Ростехэкспертиза"
- 9) ASME VIII, Div 2, 2013.

| | | | | | | | | | |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|---|--|--|--|--|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата | | | | | |
| 19786.4 | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Е-4.00.00.000 РР | | | | |
| | | | | | <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Лист 104 </div> | | | | |