

Учреждение образования «ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени П.О.Сухого»

Кафедра: сельскохозяйственные машины

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

по дисциплине «Механика материалов аддитивного синтеза»

Тема: «Расчет на прочность и жесткость элементов трубопровода»

Исполнитель  
студент 3 курса группы ТТ-3

\_\_\_\_\_ А.В.Рабков  
подпись, дата

Руководитель  
доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ С.И.Кирилюк  
подпись, дата

Курсовая работа защищена с оценкой \_\_\_\_\_  
Руководитель

\_\_\_\_\_ П.Е.Родзевич  
подпись

Гомель 2021

## Содержание

Введение.....	3
1.Анализ существующих конструкций.....	4
2.Описание конструкции трубопровода.....	8
3.Проверочный расчет трубы на прочность, устойчивость и долговечность.....	9
4.Проверочный расчет фланца на жесткость.....	11
5. Проверочный расчет болта на прочность.....	15
Заключение.....	20
Список использованных источников.....	21

## Введение

В качестве курсового проекта была выбрана тема <<Расчет на прочность и жесткость элементов трубопровода>>. Целью данной курсовой работы является расчет основных элементов конструкции трубопровода, используя знания, полученные в курсе дисциплины <<Механика материалов и конструкции>>.

Трубопровод — инженерно-техническое сооружение, предназначенное для транспортировки газообразных и жидких веществ, пылевидных и разжиженных масс, а также твёрдого топлива и иных твёрдых веществ в виде раствора под воздействием разницы давлений в поперечных сечениях трубы.

					КР.15.00.000.ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Расчет на прочность и жесткость элементов трубопровода	Лит.		Лист	Листов		
Разраб.	Рабков А.В.							3	21		
Провер.	Радзевич П.Е.					ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31					
Реценз.											
Н. Контр.											
Утверд.	Попов В.Б.										

## 1. Анализ существующих конструкций

Основная функция большинства трубопроводов – передача вещества или продукта от места добычи до места переработки и потребления. Но есть системы, предназначенные не для передачи, а для удаления или отведения. А именно:

- Канализация – отводит промышленные и бытовые отходы через очистку к утилизации
- Дренаж – служит для удаления воды с поверхности земли и из подземного пространства
- Водовыпуск – удаляет воду из подземных, тоннелей, камер и т.д.

Трубопроводы классифицируются:

По виду прокладки и/или перехода (тип опирания):

- наземный/наземный — укладывается выше уровня земли на отдельных опорах. Может быть арочный, висячий, балочный.
- подземный — укладывается непосредственно на грунт в траншеях, канавах, насыпях, штольнях, на опорах в тоннелях и дюкерах;
- подводный — укладывается по дну водоёмов, рек или в траншеях, прорытых на дне;
- плавающий — укладывается на поверхности болот, а также озёр, рек и других водоёмов с креплениями к поплавкам (чаще пластмассовым).



Рис. 1.1 Виды трубопроводов

Наземный, наводный, надземный, подземный, подводный (слева на право)

В зависимости от транспортируемых веществ:

- Аммиакопровод — предназначается для транспортировки аммиака.
- Водопровод — предназначен для обеспечения водой населения, промышленных предприятий, транспорта. В зависимости от видов потребления бытовых и промышленных нужд трубопроводы водоснабжения различают по органолептическим свойствам и пригодности для питья: хозяйственно-питьевые, производственные, противопожарные, поливные.
- Газопровод — предназначен для транспортировки попутного нефтяного и природного газа. Газопроводы предназначаются для передачи на дальние расстояния больших объёмов газа.

- Нефтепровод — предназначен для транспортировки сырой нефти. Нефть при этом подвергается подогреву, препятствующему затвердеванию входящих в её состав парафинов.
- Паропровод — технологический трубопровод, предназначенный для передачи пара под давлением, используемого для отопления или работы сторонних механизмов.
- Нефтепродуктопровод — предназначен для транспортировки нефтепродуктов, в том числе бензина и керосина, полученных в результате крекинга. Осуществляется до предприятий, предназначенных для производства нефтепродуктов более высокой переработки. Подобные трубопроводы, чаще всего, применяются в пределах одного предприятия. Для транспортировки нефтепродуктов на большое расстояние, используются специальные автомобильные либо железнодорожные цистерны.
- Мазутопровод — трубопровод, осуществляющий транспортировку тяжёлых нефтепродуктов, отходов крекинга. Такие продукты могут использоваться в качестве топочного мазута, а также для переработки в дизельное топливо или даже для дальнейшего отделения лёгких углеводородов.
- Продуктопровод — в общем смысле, трубопровод, предназначенный для транспортировки искусственно синтезированных веществ (в том числе, перечисленных выше), чаще всего — продуктов нефтехимического синтеза. В частном случае может означать систему, предназначенную для доставки по трубам любых пригодных для этого объектов.
- Массопровод — предназначен для транспортировки гидроторфа на торфоразработках, различных сыпучих материалов на складах и промышленных предприятиях, золоудалители теплоэлектростанций и т. п.
- Теплопровод — предназначен для передачи теплоносителя (вода, водяной пар) от источника тепловой энергии в жилые дома, общественные здания и промышленные предприятия. По расположению относительно зданий и сооружений разделяются на наружные и внутренние. В зависимости от длины, диаметра и количества передаваемой энергии подразделяются на: магистральные (от источника энергии до микрорайона или предприятия), распределительные (от магистральных до трубопроводов, идущих к отдельным зданиям), ответвления (от распределительных трубопроводов до узлов присоединения местных потребителей тепла).

#### По назначению

- Магистральные трубопроводы — трубопроводы и отводы от них диаметром до 1420 мм (включительно); единый производственно-технологический комплекс, включающий в себя здания, сооружения, его линейную часть, в том числе объекты, используемые для обеспечения транспортировки, хранения и (или) перевалки на автомобильный, железнодорожный и водный виды транспорта жидких или газообразных углеводородов, измерения жидких (нефть, нефтепродукты, сжиженные углеводородные газы, газовый конденсат, широкая фракция лёгких углеводородов, их смеси) или газообразных (газ) углеводородов, соответствующих требованиям законодательства.
- Трубопроводы специального назначения — дюкеры и тоннели для прокладки внутри них (при пересечении различных преград) трубопроводов, теплосетей, электрокабелей и т. д.; сюда же относятся различные самонесущие и ограждающие функции и другие специальные трубопроводы.

#### По прочим признакам

- Пневматическая почта — использование воздуха под давлением для перемещения по трубам физических объектов — чаще всего, стандартизированных капсул с объектами небольшой массы и объёма. Используется в рамках одного или близко расположенных зданий, использует механические способы маршрутизации.
- Канализация — предназначена для отведения загрязнённых промышленных и бытовых стоков через систему трубопроводов с очисткой и обезвреживанием перед утилизацией или сбросом в водоём. По назначению канализационные системы разделяют: бытовые, производственные, водостоки; по расположению: внутренняя и наружная; по типу: напорные (сброс под давлением) и безнапорные (сброс самотёком).
  - Водосток (дренаж)
- Водовыпуск

В состав трубопроводов входят: компрессорная станция, газораспределительная станция, краны, трубопроводная арматура, опоры, опорные сёдла, рёбра жёсткости, шпангоуты, бандажи, фланцы, отводы, заглушки, клапаны, дисковые затворы.

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Мониторинг состояния трубопроводов проводится ультразвуковым и инфразвуковым методами, которые позволяют отслеживать коррозию, повреждения, дефекты и деформации труб. Согласно правилам трубопроводы должны защищаться от разрушения из-за превышения давления предохранительными клапанами.

В зависимости от типа трубопровода и вида прокладки могут использоваться защитные покрытия:

- антикоррозионные;
- теплоизоляционные.

При открытой прокладке трубопроводов в качестве антикоррозионных изоляционных материалов применяются:

- масляные краски;
- антикоррозионные лаки.

Вид теплоизоляционного покрытия определяется температурой транспортируемой среды, условиями и видом прокладки труб.

Для предотвращения быстрого изнашивания труб от механических и других воздействий на переходах через препятствия (реки, озёра, автомобильные дороги, железнодорожные пути и т. д.) их прокладывают в защитных кожухах, то есть прокладка трубы производится внутри другой трубы большего диаметра, не менее чем на 200 мм. В технической литературе кожух также называют «чехлом», «футляром» или «патроном».

Для транспортировки агрессивных сред трубопроводы защищают от коррозии изнутри, покрывая их стойкими материалами: резиной (гуммирование), пластмассами, минеральными эмалями, цементным раствором.

Трубопроводы, прокладываемые в траншеях, на дне водоёмов, болот и т. д. защищают специальной антикоррозионной изоляцией в зависимости от коррозионных свойств грунтов и грунтовых вод.

## 2.Описание конструкции трубопровода

Рассмотрим схему трубопровода на рисунке 2.1

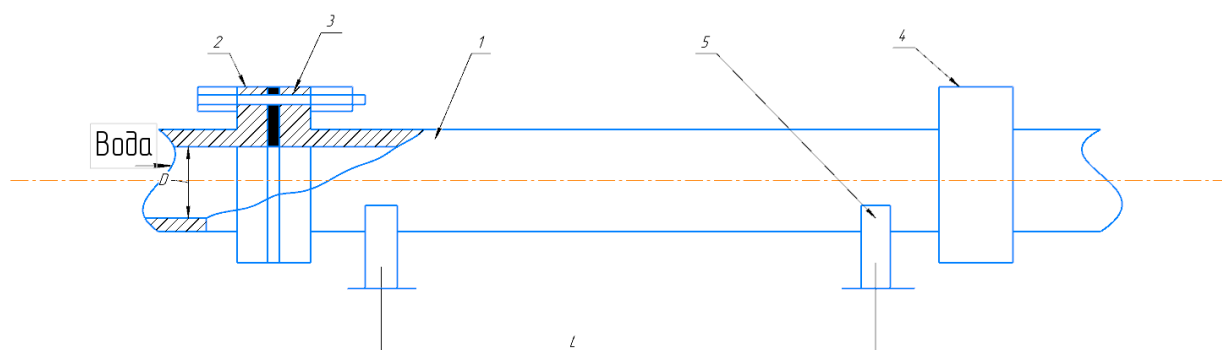


Рисунок 2.1 – Схема трубопровода

1-труба (жесткость, прочность, устойчивость, долговечность);

2-фланец (жесткость);

3-болт (прочность);

4-прокладка (жесткость);

5-опора (прочность).

Материал, который использовался для изготовления трубопровода – Л68.

Допускаемые напряжения

Предел выносливости  $\sigma_B=400\text{МПа}$

Предел выносливости это половина от предела прочности

Предел прочности при срезе

Предел прочности при смятии

Коэффициент запаса  $k=2$  и для Латунь Л68 допускаемые напряжения

Материал	$[\sigma_{из}]$ МПа	$[\sigma_p]$ МПа	$[\sigma_{см}]$ МПа	$[\tau_{ср}]$ МПа
Латунь Л68	200	500	300	232



### 3.Выбор и описание расчетных схем

#### Расчетная схема трубопровода

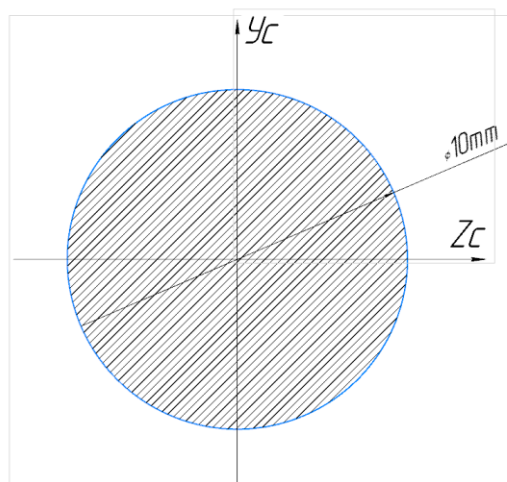


Рисунок 3.1 – поперечная схема трубопровода

#### Расчетная схема фланца

Сила, действующая на сжимающиеся кольца, идет от продольной силы от верхней плиты. Опора для для колец является нижняя плита пуансона.

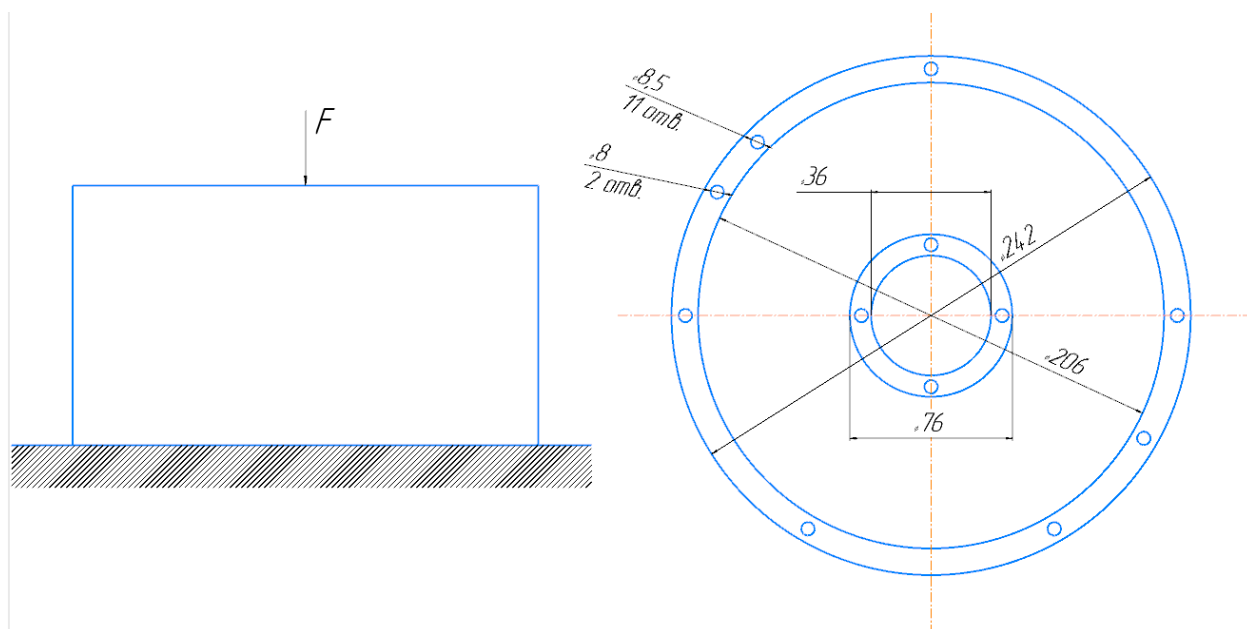


Рисунок 3.2 – Расчетная схема фланца

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КР.15.00.000.ПЗ

Лист

9

### Расчетная схема болта

Болт будут работать на растяжения, смятие и срез

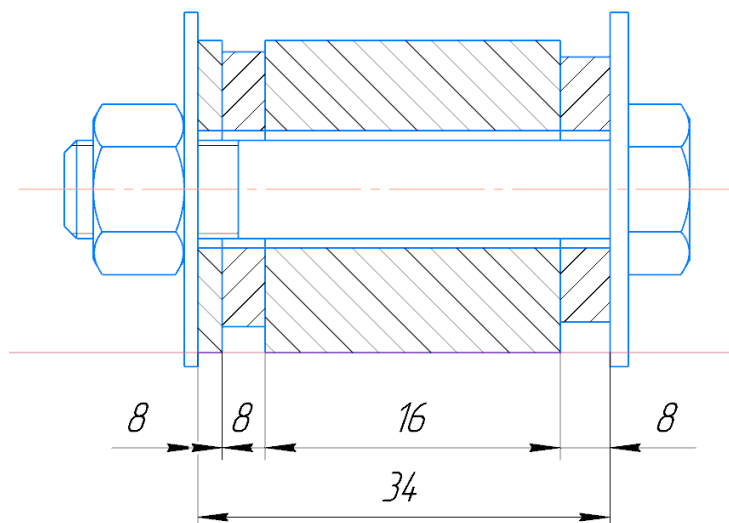


Рисунок 3.3 – Расчетная схема болта

#### 4. Проверочный расчет трубы на прочность, устойчивость и долговечность

Расчетная схема трубопровода

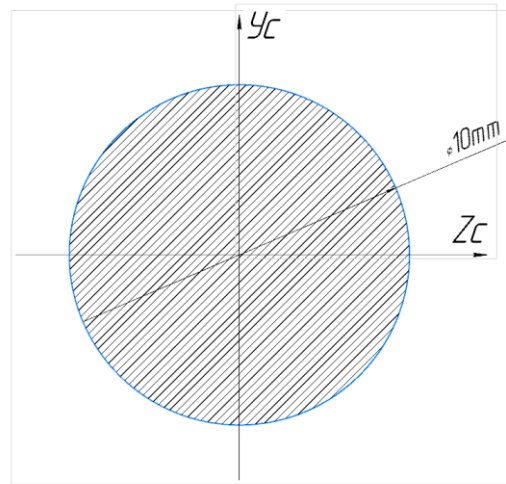


Рисунок 4.1 – Расчетная схема трубопровода

Напряжение трубопровода  $\sigma$ , МПа

$$\sigma = \frac{M_{\text{и}}^{\text{max}}}{I_y} \times z_{\text{max}} \leq [\sigma] \quad (1)$$

Где  $M_{\text{и}}^{\text{max}}$  - максимальный изгибающий момент, Нм

$I_y$  - Осевой момент инерции, м<sup>4</sup>

$z_{\text{max}}$  - Максимальное расстояние от нейтральной оси до крайних точек сечения, м

$[\sigma]$  - Допускаемое напряжение на изгиб, МПа

Максимальный изгибающий  $M_{\text{и}}^{\text{max}}$ , Нм момент определяется по [1] таблице 17

$$M_{\text{и}}^{\text{max}} = \frac{ql^2}{12} \quad (2)$$

Где  $q=352$  Кн/м – давление действующее на трубопровод  $l=200$  мм – задана выходная длинна

$$M_{\text{и}}^{\text{max}} = \frac{352 \times 10^3 \times (200 \times 10^{-2})^2}{12} = 1833 \text{ Нм}$$

Разобьем сечение цилиндра на два прямоугольника и определим момент инерции

Для составного сечения осевой момент инерции  $I_y$ , м<sup>4</sup>

$$I_y = I_1 + b_1^2 A_1 - I_2 - b_2^2 A_2 \quad (3)$$

Где  $I_1, I_2$  - осевые моменты фигур составляющих сечение планки, м<sup>4</sup>

$b_1, b_2$  - расстояние от центральной оси до центральной оси первой и второй фигуры соответственно, м

$A_1, A_2$  - площадь первой и второй фигуры соответственно

Определим моменты инерции первой и второй фигуры по [2] с. 126

$$I_i = \frac{B^3 H}{12} \quad (4)$$

Где В – ширина прямоугольника

Н - высота прямоугольника

$B_1=35\text{мм}$   $B_2=20\text{ мм}$  – взято из чертежа  $H_1=80\text{ мм}$ ,  $H_2=50\text{ мм}$  - взято из чертежа

$$I_1 = \frac{35^3 \times 80}{12} = 285833 \text{ мм}^4$$

$$I_2 = \frac{20^3 \times 80}{12} = 33333 \text{ мм}^4$$

Определим положение центральной оси сечения  $z_c$  мм по формуле [4]  
формула (16.3)

$$z_c = \frac{\sum_{i=1}^n A_i z_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (5)$$

Где  $A_i$  – площадь i-ой части сечения

$z_i$  – координата центра тяжести итой части сечения относительно произвольно выбранной оси

Выбираем положение произвольной оси n0

Вычисляем площади первой и второй фигуры

$A=a \times b$

$$A_1 = 38 \times 80 = 2800 \text{ мм}^2$$

$$A_2 = 20 \times 50 = 1000 \text{ мм}^2$$

Координаты центра тяжести первой и второй фигуры относительно произвольно выбранной оси в соответствии

$z_1=17.5\text{ мм}$ ,  $z_2=25\text{ мм}$

$$z_c = \frac{2800 \times 17,5 - 1000 \times 25}{2800 - 1000} = 13.3 \text{ мм}$$

Расстояние от центральной оси до центральной оси первой и второй фигуры

$$b_1 = \frac{35}{2} - 13.3 = 4.2 \text{ мм}$$

$$b_2 = 35 - 13.3 - \frac{20}{2} = 11.7 \text{ мм}$$

$$I_y = 285833 + 4.2^2 \times 2800 - 33333 - 11.7^2 \times 1000 = 165002 \text{ мм}^4$$

Максимальное расстояние от нейтральной оси до крайних точек сечения

$$Z_{max} = 35 - 13,3 = 21,7 \text{ мм}$$

#### 4.1. Расчет трубы на прочность

Цилиндр изготовлен из латуни Л68. Допускаемое напряжение  $[\sigma]$ , МПа

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{0,2}}{n} \quad (6)$$

Где  $\sigma_{0,2}$  – условный предел текучести, МПа

$n$  - коэффициент запаса прочности

$\sigma_{0,2} = 400$  МПа – по данным приведенным в справочнике [1] с. 75.  $n = 3$   
принимается коэффициент запаса прочности

$$[\sigma] = \frac{400}{3} = 133 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \frac{183}{165002 \times 10^{-12}} \times 21,7 \times 10^{-3} = 24 \times 10^6 \text{ Па} = 24 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 133 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется

#### 4.2. Расчет трубы на жесткость

Определим прогиб трубы  $z$ , мм по [1] таблица 17

$$z = \frac{ql^4}{384EI_y} \leq [z] \quad (7)$$

Где  $E$  – модуль упругости стали, Па

$[z]$  – допускаемый прогиб, мм

$E = 200$  ГПа – принято выше,  $[z] = 0.625$  мм – принимаем по длине балки

$$z = \frac{352 \times 10^3 \times (250 \times 10^{-3})^4}{384 \times 2 \times 10^{11} \times 165002 \times 10^{-12}} = 0.11 \times 10^{-3} \text{ м} = 0,11 \text{ мм} \leq [z] = 0.625 \text{ мм}$$

-условие жесткости выполняется

Труба отвечает требованиям прочности и жесткости

### 4.3. Расчет трубы на устойчивость

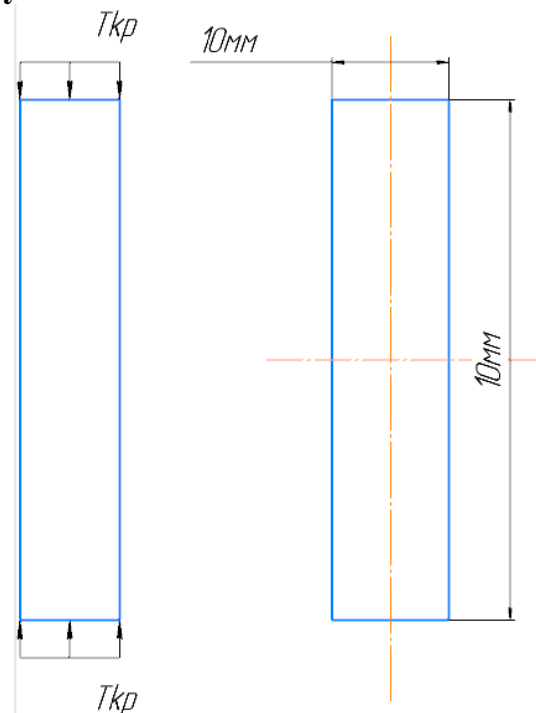


Рисунок 4.2 – расчетная схема и сечения пластины

Воспользуемся готовой формулой для данного случая по [1] таблица 18

$$T_{кр} = \frac{\pi^2 D}{a^2} k \quad (8)$$

Где  $T_{кр}$  – критическая сила, Н

$A$  – высота сечения, м

$D$  – толщина, м

Для данного сечения

$$k = m^2 + 2 \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4 m^2}$$

Где  $a$  – высота сечения, м

$b$  – ширина, м

$m$  – минимум, м

Вычислим  $k$

$$k = 1 + 2 \frac{(35 \cdot 10^{-3})^2}{(10 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{(35 \cdot 10^{-3})^4}{(35 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 1} = 175.6$$

Вычислим критическую силу для пластины

$$T_{кр} = \frac{3.14^2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{(35 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 175.6 = 2826 \text{ Н}$$

Поскольку  $F = 400 \text{ Н} < T_{кр} = 2826 \text{ Н}$  следовательно, условие устойчивости выполняются

## 5. Проверочный расчет фланца на прочность

Условие прочности при сжатии имеет вид бет мПа

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$$

$N$  – продольная сила, кН

$A$  – площадь поперечного сечения,  $\text{м}^2$

$[\sigma]$  – допускаемое напряжения, МПа

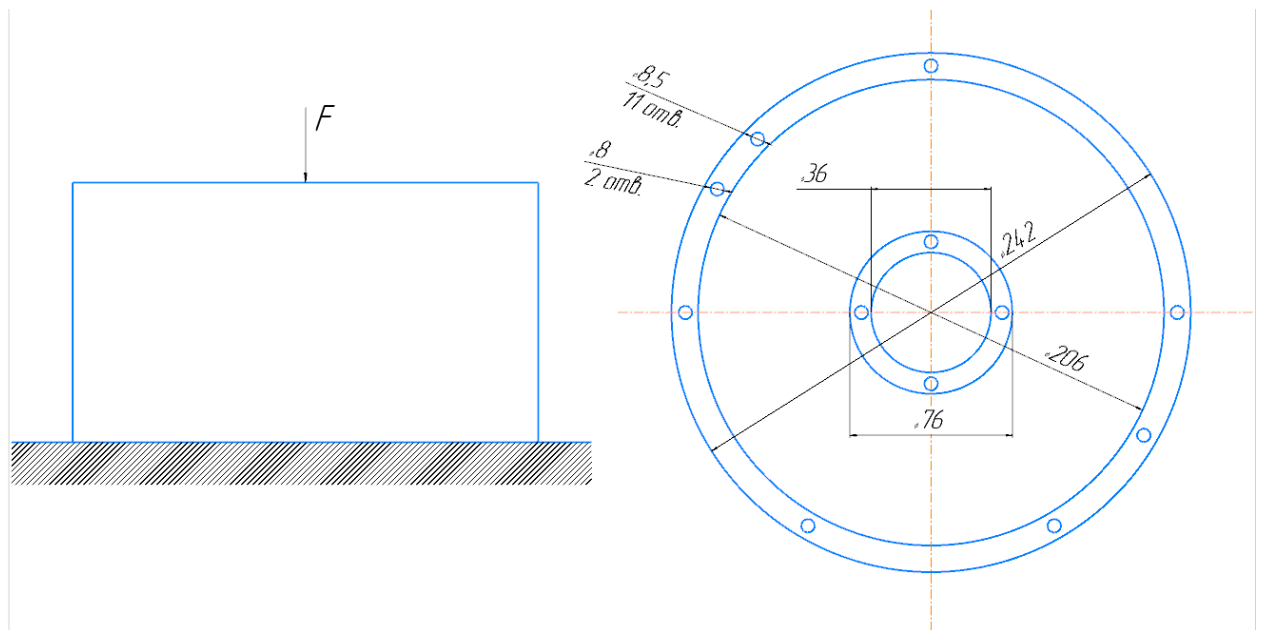


Рисунок 5 – расчетная схема кольца и его поперечное сечение

В соответствии с рисунком 5 продольная сила  $n$  равна силе  $\Phi = 500 \text{ кН}$

$$N = F = 500 \text{ кН}$$

Площадь поперечного сечения  $A$ ,  $\text{мм}^2$

$$A = \left( \frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi D_2^2}{4} \right) + \left( \frac{\pi D_3^2}{4} - \frac{\pi D_4^2}{4} \right) - n_1 \frac{\pi D_5^2}{4} - n_1 \frac{\pi D_6^2}{4}$$

Где  $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$  – диаметры колец, мм

$n_1, n_2$  – количество отверстий с диаметром  $D_5$  и  $D_6$  соответственно

$$A = 15453 \text{ мм}^2$$

Допускаемое напряжение бет мпа

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{Тч}}{n}$$

Где  $\sigma_{Тч}$  предел текучести МПа

n-коэффициент запаса прочности

$\sigma_{Тч} = 400$ мпа – по данным приведенным в справочнике [1] с. 75 n=3 – принимаем за коэффициент запаса прочности

$$[\sigma] = \frac{400}{3} = 133 \text{ Мпа}$$

Тогда условие прочности

$$\sigma = 32,4 * 10^6 \text{ Па} = 32,4 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 133 \text{ МПа}$$

- условие прочности выполняется

## 6.Проверочный расчет болта на прочность

Планка работает на изгиб

Напряжение при изгибе  $\sigma$ , МПа

$$\sigma = \frac{M_u^{max}}{I_y} * z_{max} \leq [\sigma]$$

Где  $M_u^{max}$  – максимальный изгибающий момент, Нм

И  $I_y$  – осевой момент инерции м<sup>4</sup>

$z_{max}$  – максимальное расстояние от нейтральной оси до крайних точек сечения, м

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение на изгиб мпа

Максимальный изгибающий м макс нм момент определяется по таблице 1  
таблица 17

$$M_u^{max} = \frac{ql^2}{12}$$

q = 352 кН/м определено выше l= 250мм задано выше

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$M_u^{max} = \frac{325 \cdot 10^3 \cdot (250 \cdot 10^{-3})^2}{12} = 1833 \text{ Нм}$$

Разобьем сечение планки на два прямоугольника и определим момент инерции

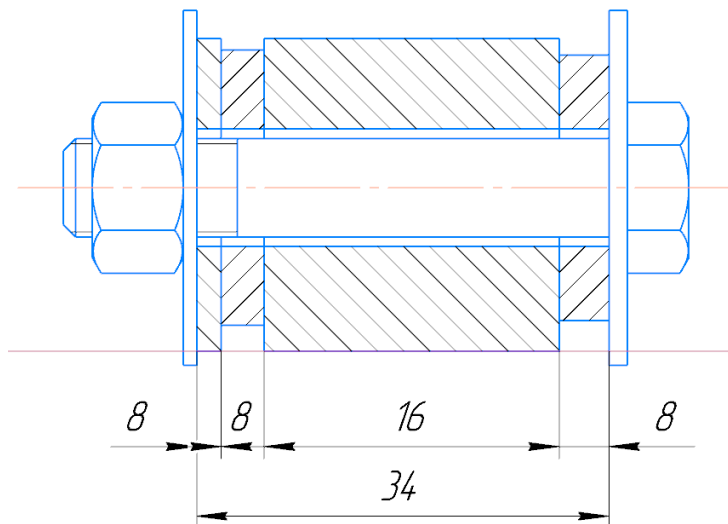


Рисунок 6 – поперечное сечение болта

Для составного сечения осевой момент инерции  $I_y$ , м<sup>4</sup>

$$I_y = I_1 + b_1^2 A_1 - I_2 - b_2^2 A_2$$

Где  $I_1$  и  $I_2$  – осевые моменты фигур составляющих сечение планки м<sup>4</sup>

$b_1, b_2$  – расстояние от центральной оси до центральной оси первой и второй фигуры соответственно

$A_1, A_2$  – площадь первой и второй фигуры соответственно, м<sup>2</sup>

Определим моменты инерции первой и второй фигуры по [2] с. 126

$$I_i = \frac{B^3 H}{12}$$

Где В – ширина прямоугольника, м

Н-высота прямоугольника, м

$B_1 = 35\text{мм}$ ,  $B_2 = 20\text{мм}$  – взято из чертежа  $H_1 = 80\text{мм}$   $H_2 = 50\text{мм}$ -взято из чертежа

$$I_1 = 285833 \text{ мм}^4$$

$$I_2 = 33333 \text{ мм}^4$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КР.15.00.000.ПЗ

Лист

17

Определим положение центральной оси сечения  $z_c$  мм по формуле 4 формула 6.13

$$z_c = \frac{\sum_{i=1}^n A_i z_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Где  $A_i$  – площадь  $i$ -ой части сечения  $z_i$  – координата центра тяжести  $i$ -ой части сечения относительно произвольно выбранной оси

Вычисляем площади первой и второй фигуры

$$A = a \times b$$

$$A_1 = 38 \times 80 = 2800 \text{ мм}^2$$

$$A_2 = 20 \times 50 = 1000 \text{ мм}^2$$

Координаты центра тяжести первой и второй фигуры относительно произвольно выбранной оси в соответствии с рисунком 3.4  $z_1 = 17.5 \text{ мм}$   $z_2 = 25 \text{ мм}$

$$z_c = \frac{2800 \times 17,5 - 1000 \times 25}{2800 - 1000} = 13.3 \text{ мм}$$

Расстояние от центральной оси до центральной оси первой и второй фигуры

$$b_1 = \frac{35}{2} - 13.3 = 4.2 \text{ мм}$$

$$b_2 = 35 - 13.3 - \frac{20}{2} = 11.7 \text{ мм}$$

$$I_y = 285833 + 4.2^2 \times 2800 - 33333 - 11.7^2 \times 1000 = 165002 \text{ мм}^4$$

Максимальное расстояние от нейтральной оси до крайних точек сечения

$$Z_{max} = 35 - 13,3 = 21,7 \text{ мм}$$

Планка изготовлена из стали 5ХНМ допускаемое напряжение бет МПа

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{0,2}}{n}$$

Где  $\sigma_{0,2}$  – условный предел текучести МПа

$n$  – коэффициент запаса прочности  $\sigma_{0,2} = 1370 \text{ МПа}$  – по данным приведенным в справочнике [1] с. 75  $n=3$  принимаем коэффициент запаса прочности

$$[\sigma] = 133 \text{ МПа}$$

$$\sigma = 24 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 133 \text{ МПа}$$

- условие прочности выполняется

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Определим прогиб болта  $z$  мм по [1] таблица 17

$$z = \frac{ql^4}{384EI_y} \leq [z]$$

$E$ - модуль упругости стали Па

$[z]$ - допускаемый прогиб мм

$E = 200$  ГПа – принято выше  $[z] = 0.625$  мм – принимаем по длине балки

$$z = 0.11 \text{ мм} \leq [z] = 0.625 \text{ мм}$$

- условие жесткости выполняется

Болт отвечает требованиям прочности и жесткости

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



