

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 2022

					КР.15.00.000.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Рабков А.В.				Расчет на прочность и жесткость элементов трубопровода	Лит.	Лист
Провер.	Родзевич П.Е.						Листов
Реценз.							1
Н. Контр.							28
Утверд.	Попов В.Б.					ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31	

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

					КР.15.00.000.ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		Рабков А.В.			Содержание			Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Родзевич П.Е.								1	1
Реценз.								ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31			
Н. Контр.											
Утверд.		Попов В.Б.									

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												
Разраб.		Рабков А.В.			Введение											
Провер.		Родзевич П.Е.									Лит.		Лист		Листов	
													1		1	
Реценз.											ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31					
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)

					КР.15.00.000.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Рабков А.В.				Анализ существующих конструкций	Лит.	Лист
Провер.	Родзевич П.Е.						Листов
Реценз.							1
Н. Контр.							8
Утверд.	Попов В.Б.					ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31	

В зависимости от транспортируемых веществ:

- Аммиакопровод — предназначен 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 предназначены 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

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

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

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

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(Рис. 1.2.):

- 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



Рис. 1.2. Разновидности трубопроводов

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

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

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

(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.

Трубопровод - это сооружение, предназначенное для транспортировки жидких, газообразных и твердых (сыпучих) продуктов. Трубопроводы состоят из плотно соединенных между собой прямых участков труб, деталей, запорно-регулирующей арматуры, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики, опор и подвесок, крепежа, прокладок и уплотнений, а так же материалов, применяемых для тепловой и антикоррозийной изоляции.

Детали трубопроводов – это соединительные детали, которые используют при строительстве трубопроводов различного назначения, необходимые при изгибах, наклонах, поворотах, изменении диаметра труб и в случае, когда трубопровод временно не используется. Соединяются детали при монтаже трубопровода, как правило, сварной встык.

Изготавливаются детали трубопроводов из различных марок сталей; углеродистых, жаропрочных, нержавеющей (Рис.1.3.). Решение о применении того или иного материала принимает проектная организация. В подавляющем большинстве случаев материал соединительных деталей трубопроводов совпадает с материалом применяемых в системе труб. А сам трубопровод кроме сталей изготавливают из пластика, дерева или бамбука (Рис 1.4.)



Рис. 1.3. Металлические трубопроводы

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



Рис. 1.4. Неметаллические трубопроводы

Различают — промышленный (технологический) и магистральный трубопроводный транспорт в зависимости от территориального расположения и назначения. Газо- и нефтепроводы, переправляющие продукты от мест добычи к местам переработки и потребления, а именно на заводы или в морские порты для последующей выгрузки в танкеры и дальнейшей транспортировки, относятся к магистральному трубопроводному транспорту. С заводов готовые нефтепродукты направляются по магистральным трубопроводам в районы потребления.

Больше трети трубопроводов промышленных предприятий составляют технологические трубопроводы. Технологические трубопроводы переправляют жидкость, пар, газ, которые считаются сырьем, полуфабрикатами, готовой продукцией, отходами производства или продуктами, требуемыми для правильного течения технологического процесса. Кроме того, данные трубопроводы переправляют опасные и наносящие вред здоровью продукты при разных температурах и давлениях.

Область применения соединительных деталей трубопроводов разнообразна: тяжелая химическая промышленность, нефтехимическая, газовая; производство различных специализированных препаратов; электроэнергетика (ТЭЦ и АЭС); разведка, добыча, переработка и хранение нефти и газа, а также других полезных ископаемых; металлургическое и сталелитейное производство; судостроительная, автомобилестроительная и продовольственная промышленность; гражданское строительство и коммунальное хозяйство (центральное тепло- и водоснабжение, водосборные

и гидроэнергетические сооружения, распределительные, оросительные системы, транспорт и насосные станции, станции очистки сточных вод, переработка и водоподготовка, системы регулирования).

2.Описание конструкции трубопровода

Рассмотрим схему трубопровода на рисунке 2.1

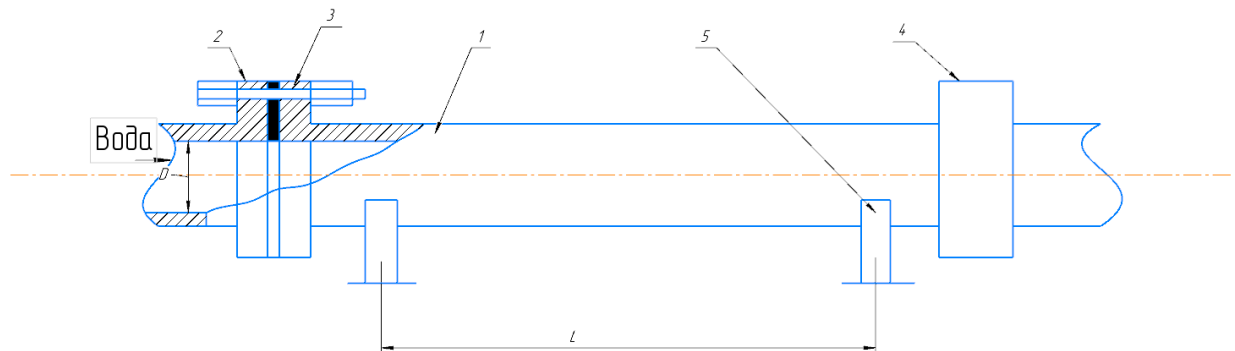


Рисунок 2.1 – Схема трубопровода

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 - $\tau_{ср} = 0,58 \times \sigma_B$

Предел прочности при смятии - $\sigma_{ср} = 0,75 \times \sigma_B$

					КР.15.00.000.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Рабков А.В.			Описание конструкции трубопровода	Лит.	Лист
Провер.		Родзевич П.Е.					Листов
Реценз.							1
Н. Контр.							2
Утверд.		Попов В.Б.				ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31	

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

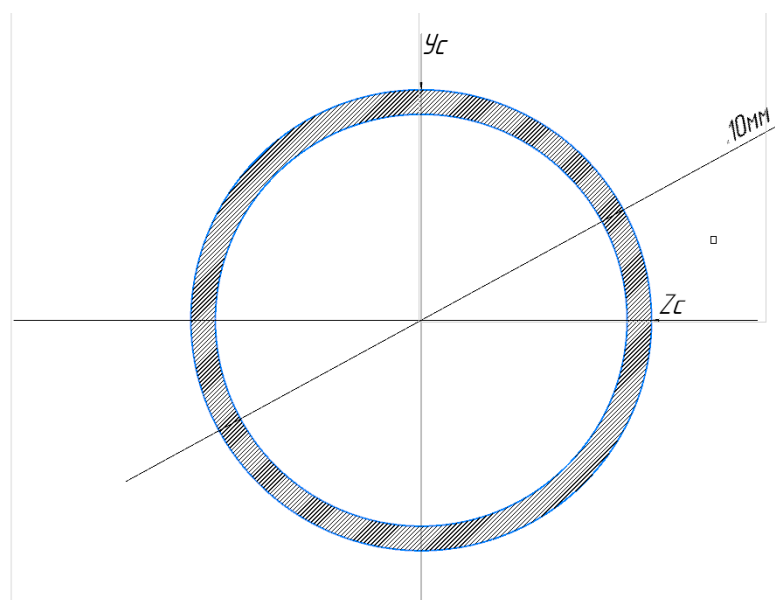


Рисунок 3.1 – поперечная схема трубопровода

					КР.15.00.000.ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		Рабков А.В.			Выбор и описание расчетных схем			Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Родзевич П.Е.								1	2
Реценз.								ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31			
Н. Контр.											
Утверд.		Попов В.Б.									

Расчетная схема фланца

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

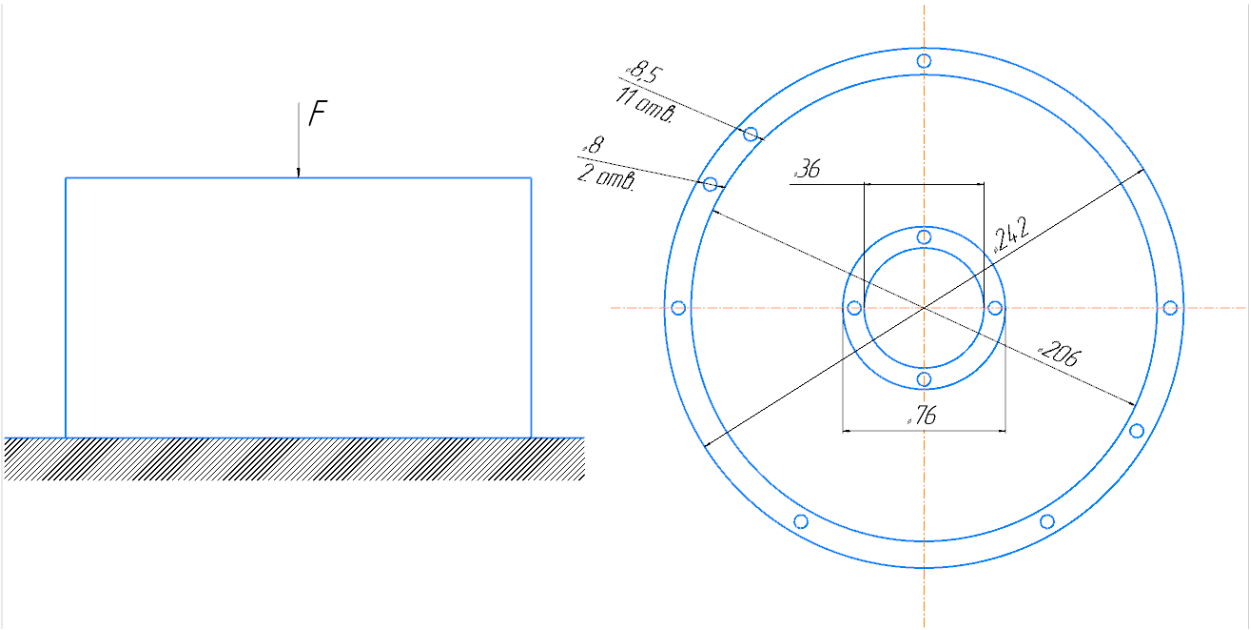


Рисунок 3.2 – Расчетная схема фланца

Расчетная схема болта

Болт будет работать на растяжения, смятие и срез

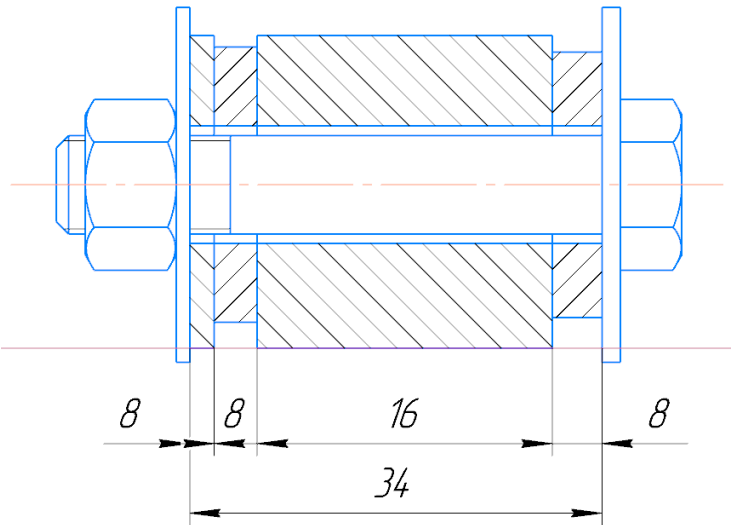


Рисунок 3.3 – Расчетная схема болта

4. Проверочный расчет трубы на прочность, устойчивость и долговечность

Расчетная схема трубопровода

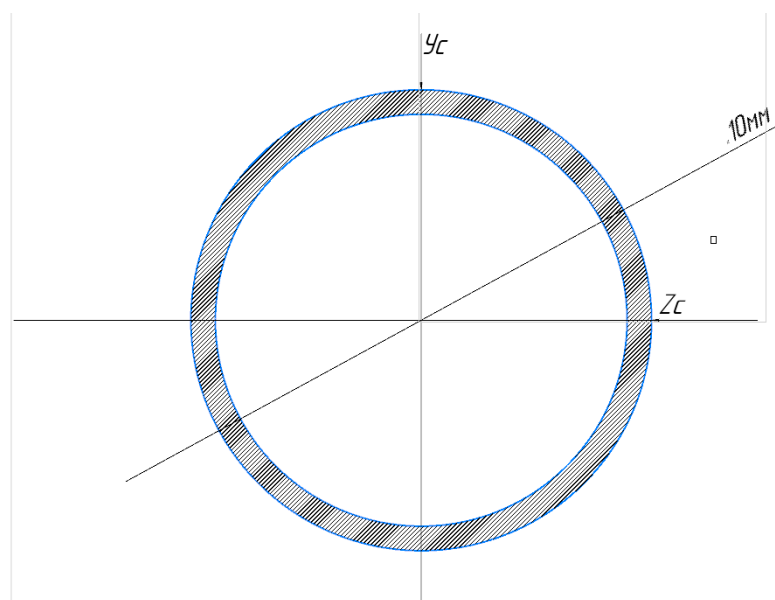


Рисунок 4.1 – Расчетная схема трубопровода

Напряжение трубопровода σ , 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, м⁴

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

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

					КР.15.00.000.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Рабков А.В.			Проверочный расчет трубы на прочность, устойчивость и долговечность		
Провер.		Родзевич П.Е.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Утверд.		Попов В.Б.					
					Лит.	Лист	Листов
						1	5
					ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31		

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

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

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

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

Разобьем сечение цилиндра на два прямоугольника и определим момент инерции

Для составного сечения осевой момент инерции $I_y, \text{м}^4$

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

Где I_1, I_2 – осевые моменты фигур составляющих сечение планки, м^4

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 B – ширина прямоугольника

H – 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

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

z_i – координата центра тяжести итой 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

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

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

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

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

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

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

						Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	КР.15.00.000.ПЗ	

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

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

$E = 200 \text{ ГПа}$ – принято выше, $[z] = 0.625 \text{ мм}$ – 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 отвечают требованиям прочности и жесткости

4.3. Расчет трубы на устойчивость

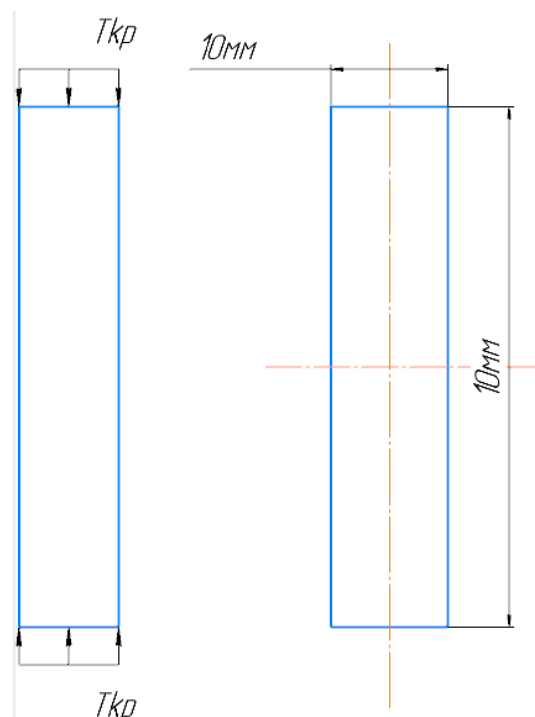


Рисунок 4.2 – расчетная схема и сечения пластины

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

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

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

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

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

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

5.Проверочный расчет фланца на прочность

Условие прочности при сжатии имеет вид бета мпа

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

N – продольная сила, кН

A – площадь поперечного сечения, м²

[σ] – допускаемое напряжения, МПа

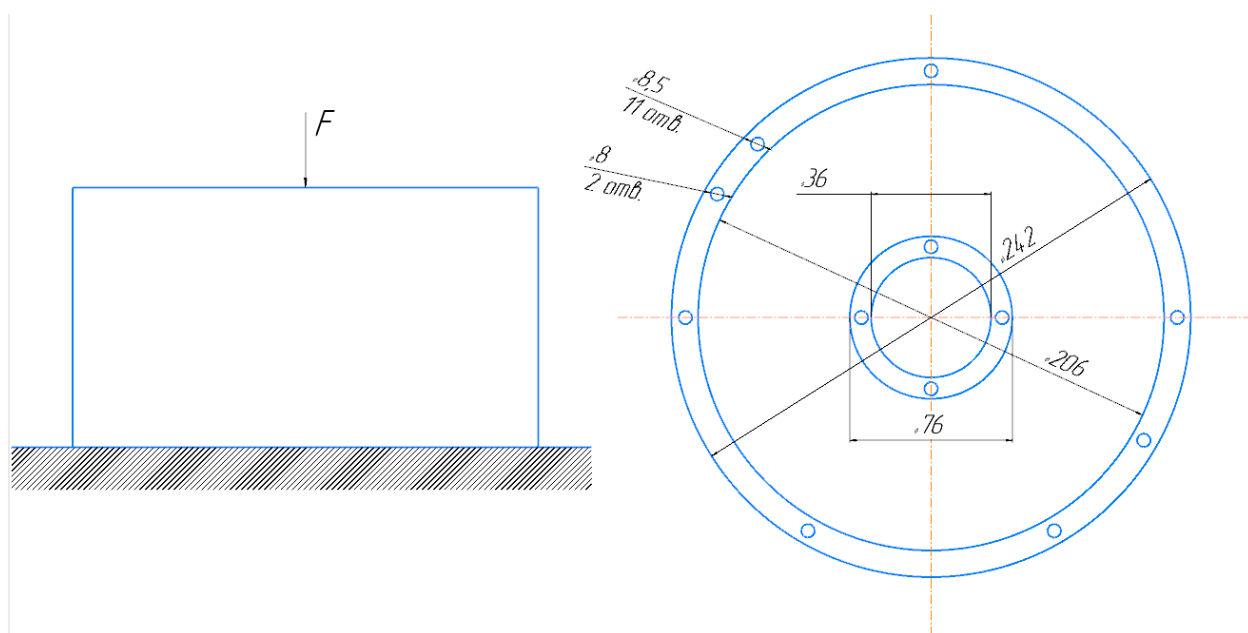


Рисунок 5 – расчетная схема кольца и его поперечное сечение

В соответствии с рисунком 5 продольная сила n равна силе ф = 500кн

$$N=F=500\text{кН}$$

					КР.15.00.000.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Рабков А.В.				Проверочный расчет фланца на прочность		
Провер.	Родзевич П.Е.						
Реценз.							
Н. Контр.							
Утверд.	Попов В.Б.						
					Лит.	Лист	Листов
						1	2
					ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31		

Площадь поперечного сечения А. мм²

$$A = \left(\frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi D_2^2}{4} \right) + \left(\frac{\pi D_3^2}{4} - \frac{\pi D_4^2}{4} \right) - n_1 \frac{\pi D_5^2}{4} - n_2 \frac{\pi D_6^2}{4}$$

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

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{тч}}}{n}$$

Где $\sigma_{\text{тч}}$ предел текучести МПа

n-коэффициент запаса прочности

$\sigma_{\text{тч}} = 400 \text{ мпа}$ – 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

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

6.Проверочный расчет болта на прочность

Планка работает на изгиб

Напряжение при изгибе σ , 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 м⁴

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

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

					КР.15.00.000.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Рабков А.В.			Проверочный расчет болта на прочность		
Провер.		Родзевич П.Е.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Утверд.		Попов В.Б.					
					Лит.	Лист	Листов
						1	4
					ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31		

Разобьем сечение планки на два прямоугольника и определим момент инерции

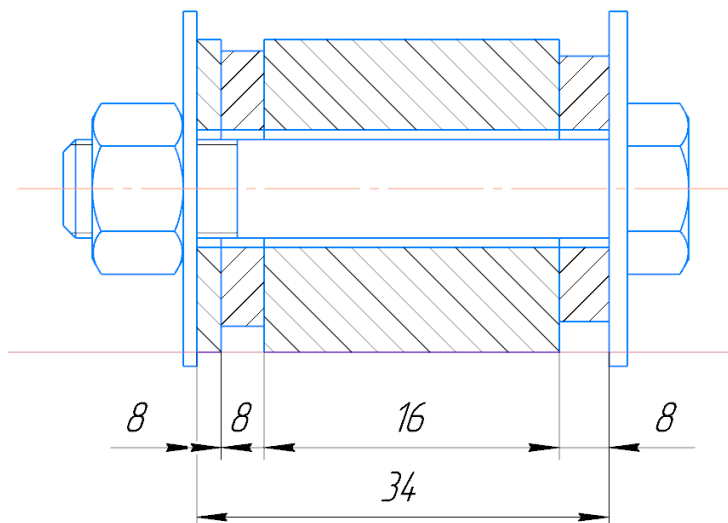


Рисунок 6 – поперечное сечение болта

Для составного сечения осевой момент инерции I_y , м^4

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

Где I_1 и I_2 – осевые моменты фигур составляющих сечение планки м^4

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^2

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

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

Где B – ширина прямоугольника, м

H – 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

$$I_1 = 285833 \text{ мм}^4$$

									Лист
									2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	КР.15.00.000.ПЗ				

$$I_2 = 33333 \text{ мм}^4$$

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

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

					КР.15.00.000.ПЗ	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

n- коэффициент запаса прочности $\sigma_{0,2} = 1370$ 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

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
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Заключение

По результатам расчета и анализа элементов захвата испытательной машины получили, что условию прочности и жесткости отвечают: труба, фланец, болт.

Критическая сила пластины трубопровода равна $T_{кр} = 2826\text{Н}$, что соответствует условию устойчивости. Максимальный изгибающий момент равен $M_u^{max} = 1833\text{ Нм}$.

Условие прочности трубы $\sigma=24\text{МПа} \leq [\sigma]=133\text{ МПа}$ - условие прочности выполняется

Условие жесткости трубы $z=0.11\text{ мм} \leq [z] = 0.625\text{ мм}$ - условие жесткости выполняется

Условия прочности фланца $\sigma = 32,4 * 10^6\text{Па} \leq [\sigma] = 133\text{ МПа}$ - условие прочности выполняется

Условие жесткости фланца $z=0.11\text{ мм} \leq [z] = 0.625\text{ мм}$ - условие жесткости выполняется

Условие прочности болта $\sigma=24\text{МПа} \leq [\sigma]=133\text{ МПа}$ - условие прочности выполняется

Условие жесткости болта $z=0.11\text{ мм} \leq [z] = 0.625\text{ мм}$ - условие жесткости выполняется

					<i>КР.15.00.000.ПЗ</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Рабков А.В.			Заключение	Лит.	Лист
Провер.		Родзевич П.Е.					1
Реценз.							1
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31	
Утверд.		Попов В.Б.					

Список использованных источников

1. Детали машин. Учебник для машиностроительных специальностей вузов/М.Н. Иванов, В.А. Финогенов – 10—е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2006. – 408 с.
2. Анурьев, В.И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3—х т. Т.1. – 9—е изд., перераб. и доп./ под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.
3. Дорожко, А.В. Механика материалов и конструкций. Расчетно—проектировочные работы: учеб.—метод. пособие/ А.В. Дорожко, С.В. Ярмолик.— Минск: БГТУ, 2015.-132 с.
4. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. – 14-е изд., исправл. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 592 с.
5. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. Учебник под ред. Г.С. Варданяна – М., Издательство АСВ, 1995. – 568 с.
6. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов: Учебное пособие.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.— 560 с.

					КР.15.00.000.ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Список использованных источников			Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Рабков А.В.								1	1
Провер.		Родзевич П.Е.									
Реценз.											
Н. Контр.											
Утверд.		Попов В.Б.									
					ГГТУ им. П.О. Сухого гр. ТТ-31						