

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Институт ЭКОТЕХ

КАФЕДРА ИНЖИНИРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.А.Мостаков, Т.М. Слободяник, Б.В.Воронин, П.М.Вержанский

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

Часть 2. ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Программа, методические указания, задания на контрольные и письменные
работы для студентов-заочников специальности 130400.65;
специализаций: «Горные машины и оборудование»,
«Электрификация и энергоэффективность горных предприятий»

Москва 2014

Мостаков В. А., Слободяник Т. М., Воронин Б.В., Вержанский П.М

Прикладная механика. Часть 2. Детали машин и основы конструирования. – М., Издательский дом «МИСиС», 2014.

Представлены программа, методические указания, задания на контрольные и письменные работы для студентов – заочников специальности 130400.65; специализаций: «Горные машины и оборудование», «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий»

© Институт базового образования, МИСиС, 2014.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

Раздел «ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ»

Введение

Краткие сведения из истории машиностроения. Роль машиностроения в механизации тяжелых и трудоемких процессов. Основные тенденции и направления современного машиностроения. Краткий исторический обзор развития конструкций деталей машин.

1. Общие принципы расчета и конструирования деталей машин

Виды нагрузок, действующих на детали машин общего и горнотранспортного оборудования. Понятие о расчетной нагрузке. Указания по выбору основных машиностроительных материалов при конструировании деталей машин. Стандартизация деталей машин. Основные этапы проектирования и конструирования. Основные критерии работоспособности деталей машин. Понятие о надежности.

2. Соединения

Классификация соединений. Соединения разъемные и неразъемные.

2.1. Неразъемные соединения

Заклепочные соединения. Классификация заклепочных соединений и заклепочных швов. Расчет прочных прочноплотных заклепочных соединений.

Сварные соединения. Техничко-экономическая характеристика. Основные виды швов. Материал, маркировки, стандарты на электроды. Расчет на прочность сварных швов. Допускаемые напряжения и запасы прочности при статическом и динамическом нагружении.

Соединение деталей посредством посадок с гарантированным натягом. Расчет потребного натяга. Прочность соединяемых деталей.

2.2. Разъемные соединения

Резьбовые соединения. Резьбы и их классификация. Крепежные и ходовые резьбы. Основные параметры резьб. Стандарты на резьбы. Сравнительная оценка основных типов стандартных резьб.

Конструктивные формы основных типов болтов, винтов, шпилек, гаек. Стандарты на элементы болтовых соединений. Конструкция и принцип действия гаечных замков.

Материалы элементов резьбовых соединений. Распределение осевой нагрузки по виткам (задача Н.Е.Жуковского). Расчет элементов резьбы на прочность.

Напряженное и ненапряженное болтовое соединение. Расчет винта, подверженного действию осевой силы и крутящего момента. Расчет групповых болтовых соединений. Расчет болтов, нагруженных после затяжки. Расчет эксцентрично нагруженных болтов. Выбор запасов прочности и допускаемых напряжений. Фрикционно-винтовые соединения. Конструкция, область применения и расчет клеммовых соединений.

Проблемы рационального конструирования и повышения нагрузочной способности резьбовых соединений.

Шпоночные соединения, их классификация. Основные типы шпонок, область применения. Подбор, проверочный расчет различных типов шпонок. Допускаемые напряжения.

Зубчатые (шлицевые) соединения. Основные конструктивные разновидности. Сравнительная оценка. Критерии работоспособности. Проектный и проверочный расчет.

Профильные соединения.

3. Передачи

Назначение и роль передач в машинах. Принципы работы и классификация механических передач.

3.1. Фрикционные передачи и вариаторы

Принцип работы, область применения, эксплуатационные характеристики. Виды скольжения. Материалы. Передачи с условно постоянным и переменным передаточным отношением. Вариаторы. Диапазон регулирования. Конструктивные схемы. Кинематика передач. Силы, действующие на валы. Расчет на прочность. Допускаемые напряжения.

3.2. Ременные передачи

Основные технико-экономические характеристики. Область применения. Разновидности ременных передач. Основные типы и материалы плоских ремней. Стандарты на ремни. Геометрия и кинематика ременных передач. Силы, напряжения в ремнях передачи. Виды скольжения. Расчет передач по тяговой способности. Кривые скольжения. Силы, действующие на валы передачи.

Клиноременная передача. Стандарты на клиновые ремни. Основные характеристики и область применения. Подбор основных элементов по стандартам. Определение числа ремней. КПД, проверка долговечности. Передачи с поликлиновым ремнем. Способы повышения нагрузочной способности ременных передач, расширение области их применения. Зубчато-ременные передачи, основные характеристики, область применения.

3.3. Зубчатые передачи

Основные понятия и определения. Классификация зубчатых передач. Область применения, технико-экономические характеристики зубчатых передач. Стандартные параметры зубчатых передач. Стандарты

на расчеты, обозначения, терминологию. Тенденции в конструировании передаточных механизмов. Выбор оптимальных параметров передачи.

Материалы зубчатых колес. Методы упрочнения. Силы, действующие в зацеплении цилиндрических зубчатых колес. Критерии работоспособности и виды разрушения зубьев передачи. Особенности расчета редукторных и открытых передач.

Косозубая и шевронная зубчатые передачи с цилиндрическими колесами. Основные геометрические соотношения. Понятие об эквивалентных колесах.

Стандартная методика расчета цилиндрических передач на прочность по ГОСТ 21354-87. Расчет на контактную выносливость активной поверхности зубьев. Расчет зубьев на выносливость при изгибе. Методика определения допускаемых напряжений.

Конические зубчатые передачи. Основные сведения из геометрии конических колес. Стандарт на конические передачи. Понятие об эквивалентных колесах, особенности расчета. Конические колеса с напряженными зубьями. Гипоидные передачи. Передачи с круговым зацеплением Новикова. Основы геометрии зацепления. Силы, действующие в зацеплении. Методика прочностного расчета. Проблемы создания зубчатых передач, обладающих повышенной нагрузочной способностью.

3.4. Червячные передачи

Основные понятия и определения, общие характеристики. Область применения. Классификация червячных передач. Передачи с цилиндрическими червяками. Критерии работоспособности. Применяемые материалы. Силы, действующие в червячной передаче. Расчет червячной передачи на выносливость по напряжениям изгиба и контактными напряжениям. Проверка прочности тела червяка. Тепловой расчет

передачи. Способы охлаждения и смазки червячных передач. Проблемы улучшения эксплуатационных характеристик червячных передач.

Глобоидная червячная передача. Основные достоинства передачи. Особенности расчета и конструирования глобоидных передач.

3.5. Планетарные зубчатые передачи

Определение усилий, действующих на звенья планетарных механизмов. Основные расчетные соотношения.

3.6. Редукторы

Основные схемы редукторов горных и горнотранспортных машин. Основы рационального конструирования редукторов. Конструкции и основы расчета корпусных деталей редукторов. Стандарты и нормы на редукторы.

3.7. Цепные передачи

Классификация приводных цепей и их конструкция. Стандарты на цепи. Область применения цепных передач. Основные характеристики. Выбор основных параметров цепных передач. Кинематика цепных передач. Критерии работоспособности и исходные положения для расчета цепных передач. Порядок расчета. КПД. Нагрузки на валы. Смазка и эксплуатация цепных передач. Цепные вариаторы.

3.8. Передача винт-гайка

Область применения. Типы резьб. Материалы. Допускаемые напряжения и скорости. Требования к точности. Шариковые гайки. Расчет элементов передачи: винт, гайка, рукоятки.

3.9. Волновые передачи

Принцип действия. Конструктивные формы, элементы геометрии. Выбор основных параметров. Область рационального применения. Проблемы расширения области применения волновых передач в горном машиностроении.

4. Детали механических передач

4.1. Оси и валы

Классификация валов, их конструкция. Критерии расчета.

Материалы валов. Выбор расчетных нагрузок. Выбор расчетных схем. Ориентировочный, предварительный и проверочный расчет валов. Выбор запасов прочности и допускаемых напряжений. Расчет валов на жесткость. Оси. Расчет осей. Ось равного сопротивления. Разновидности осей. Допускаемые напряжения. Отражение тенденций экономии металла при конструировании валов и осей.

4.2. Опоры осей и валов

Классификация опор: подшипники качения, скольжения, опоры с газовой смазкой, магнитные и электромагнитные подшипники.

Подшипники качения, их характеристика. Область применения. Классификация. Основные характеристики и конструкции шариковых и роликовых подшипников. Система условных обозначений подшипников качения.

Повышение долговечности и качества подшипников. Распределение нагрузки по телам качения. Виды повреждения подшипников качения и критерии работоспособности. Определение эквивалентной нагрузки. Подбор подшипников качения по динамической грузоподъемности. Точность подшипников качения. Классы точности. Контактные напряжения в подшипниках качения и их расчет.

Современные тенденции в развитии конструкций подшипников качения.

Подшипники скольжения. Общие сведения. Преимущества и недостатки, область применения. Режим работы подшипников скольжения. Условия возникновения гидродинамического режима. Материалы

подшипников скольжения. Смазочные материалы. Пластичные, жидкие, твердые смазочные материалы.

4.3. Муфты

Классификация муфт. Стандарты и нормали. Обзор основных типов муфт. Глухие муфты. Конструкции и схемы расчета. Жесткие компенсирующие и подвижные муфты. Подбор муфт. Стандарты. Сцепные управляемые муфты. Понятие о синхронизаторах. Расчет зубьев.

Муфты трения. Классификация по форме рабочих поверхностей и механизмов управления. Расчетные коэффициенты трения и допускаемые давления. Нормали. Механизмы управления. Особенности конструкций и расчета шинно-пневматических муфт.

Электромагнитные фрикционные и порошковые муфты. Проблемы совершенствования конструкций муфт.

4.4. Пружины

Назначение пружин. Классификация пружин по виду нагрузок и форме. Область применения отдельных видов пружин. Материалы пружин. Допускаемые напряжения. Конструктивное исполнение, схемы расчета.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Согласно учебному плану студенты-заочники специальности 130400.65 специализаций «Горные машины и оборудование» и «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» должны выполнить четыре контрольные работы по дисциплине «Прикладная механика», часть 2 «Детали машин и основы конструирования».

Контрольная работа №1 посвящена расчетам сварных соединений, контрольная работа №2 – расчетам резьбовых соединений.

В контрольной работе №3 требуется рассчитать клиноременную передачу, а в контрольной работе №4 – цепную.

Каждая контрольная работа состоит из 10 заданий (0,1,2....9), а каждое задание содержит 10 вариантов (0,1,2...9) числовых данных.

Дополнительная информация, необходимая для выполнения каждой контрольной работы, содержится в приложениях 1- 4.

Номер задания выбирается по последней цифре шифра, а вариант числовых данных – по предпоследней.

При выполнении каждой контрольной работы условия задачи и схемы обязательно переписываются и указывается номер задания и вариант.

Все графические построения должны быть выполнены на отдельных листах в масштабе с соблюдением норм и правил ЕСКД.

Контрольная работа №1

Контрольная работа должна содержать расчет геометрических характеристик сварного соединения, нагрузок, приведенных к расчетному сечению сварного соединения, определение действующих напряжений и приведение их к эквивалентному. Расчет должен завершаться сравнением эквивалентного и допускаемого напряжений, приведенных в табл. 1.2 приложения 1.

Примеры выполнения работы

Пример 1

Расчетная схема сварного соединения показана на рис. 1.1.

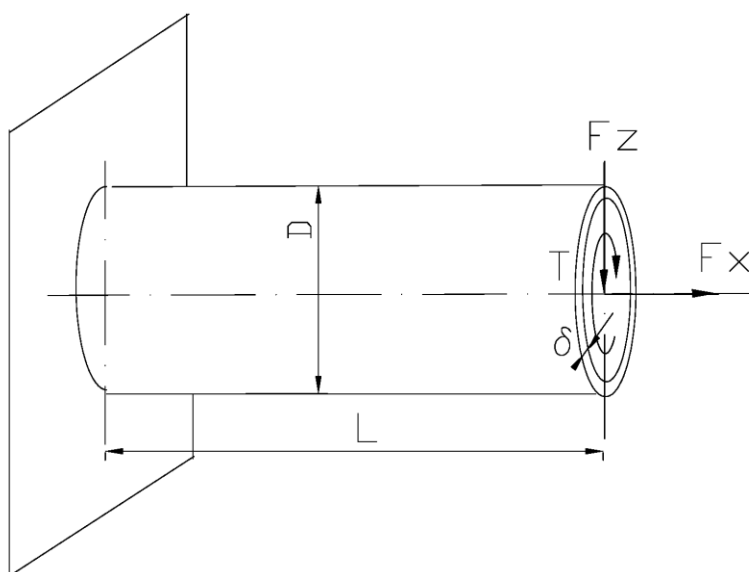


Рис. 1.1

Рассчитать сварное соединение, схема которого показана на рисунке, при следующих исходных данных: $F_x = 54 \text{ кН}$, $F_z = 12 \text{ кН}$, $T = 9,6 \text{ кНм}$, $L = 600 \text{ мм}$, $D = 160 \text{ мм}$, $\delta = 10 \text{ мм}$.

Материал свариваемых элементов – сталь 3. Сварка ручная электродом Э42А.

Рассмотрим два варианта сварного соединения: стыковыми швами с разделкой кромок и угловыми швами без разделки кромок (рис.1.2).

Сварное сечение представляет собой тонкое кольцо. Поэтому для определения геометрических характеристик сечения воспользуемся упрощенными формулами, приведенными в табл.1.1 приложения 1.

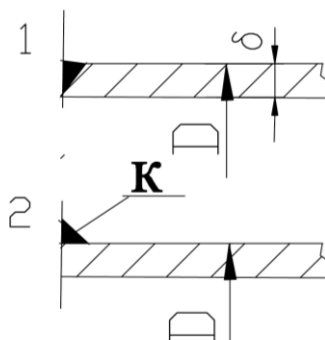


Рис. 1.2.

Рассматриваем вариант 1 – сварное сечение реализуется стыковым швом, обеспечиваемым разделкой кромок.

Площадь сечения

$$S = \pi \cdot D \cdot \delta = 3,14 \cdot 180 \cdot 10 = 5652 \text{ мм}^2.$$

Моменты сопротивления сечения относительно осей

$$W_x = W_y = \frac{\pi \cdot \delta \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 180^2}{4} = 254000 \text{ мм}^3.$$

Полярный момент сопротивления сечения

$$W_p = \frac{\pi \cdot \delta \cdot D^2}{2} = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 180^2}{2} = 508000 \text{ мм}^3.$$

Изгибающий момент, действующий в сечении,

$$M_y = F_z \cdot L = 12000 \cdot 600 = 7200000 \text{ Нмм}.$$

Напряжения в сварном сечении:

- от силы F_x

$$\sigma_{F_x} = \frac{F_x}{S} = \frac{54000}{5652} = 9,6 \text{ МПа};$$

- от изгибающего момента M

$$\sigma_M = \frac{M}{W_x} = \frac{7200000}{254000} = 28,3 \text{ МПа};$$

- от крутящего момента T

$$\tau_T = \frac{T}{W_p} = \frac{9600000}{508000} = 18,9 \text{ МПа};$$

- от силы F_z , действующей в плоскости сварного шва

$$\tau_{F_z} = \frac{F_z}{S} = \frac{12000}{5652} = 2,1 \text{ МПа}.$$

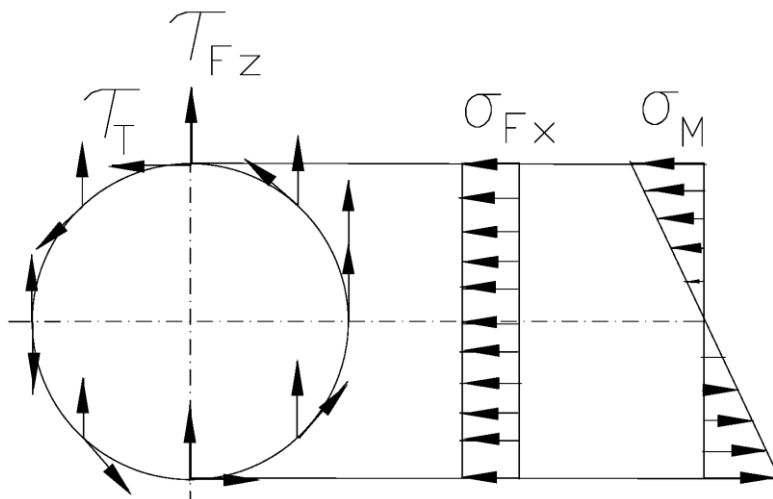


Рис. 1.3.

Исходя из рис. 1.3, определим эквивалентное напряжение, действующее в верхней точке сварного сечения, как наиболее нагруженной:

$$\begin{aligned} \sigma_{экв} &= \sqrt{(\sigma_{F_x} + \sigma_M)^2 + 3(\tau_T^2 + \tau_{F_z}^2)} = \\ &= \sqrt{(9,6 + 28,3)^2 + 3(18,9^2 + 2,1^2)} = 50,2 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Прочность сварного сечения обеспечена, так как

$$\sigma_{экс} = 50,2 \text{ МПа} < [\sigma_{св}] = 140 \text{ МПа}.$$

Рассматриваем вариант 2 – сварное сечение реализуется угловым швом, катет которого $k = 10$ (см. рис. 1.2).

Эффективная толщина углового шва $\delta = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ мм}$.

Площадь сечения

$$S = \pi \cdot D \cdot \delta = 3,14 \cdot 180 \cdot 7 = 3956 \text{ мм}^2.$$

Моменты сопротивления сечения относительно осей

$$W_x = W_y = \frac{\pi \cdot \delta \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 7 \cdot 180^2}{4} = 178000 \text{ мм}^3.$$

Полярный момент сопротивления сечения

$$W_p = \frac{\pi \cdot \delta \cdot D^2}{2} = \frac{3,14 \cdot 7 \cdot 180^2}{2} = 356000 \text{ мм}^3.$$

Примечание. В угловых швах независимо от направления нагрузок действуют только касательные напряжения.

Ошибка! Ошибка связи.Ошибка! Ошибка связи.Ошибка!
Ошибка связи.Ошибка! Ошибка связи.Ошибка! Ошибка
связи.Напряжения в сварном сечении:

- от силы F_x

$$\tau_{F_x} = \frac{F_x}{S} = \frac{54000}{3956} = 13,7 \text{ МПа};$$

- от изгибающего момента M

$$\tau_M = \frac{M}{W_x} = \frac{7200000}{178000} = 40,4 \text{ МПа};$$

- от крутящего момента T

$$\tau_T = \frac{T}{W_p} = \frac{9600000}{356000} = 30,0 \text{ МПа};$$

- от силы F_z , действующей в плоскости сварного шва

$$\tau_{F_z} = \frac{F_z}{S} = \frac{12000}{3956} = 3,0 \text{ МПа}.$$

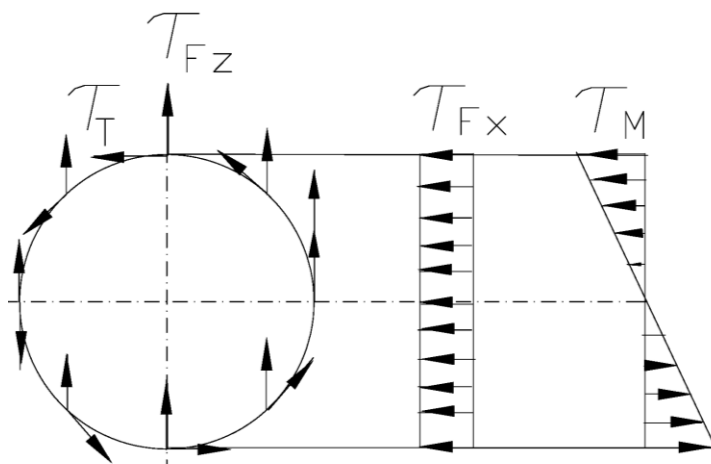


Рис.1.4

Исходя из рис.1.4, определим эквивалентное напряжение, действующее в верхней точке сварного сечения, как наиболее нагруженной:

$$\begin{aligned}\tau_{\text{экв}} &= \sqrt{(\tau_{F_x} + \tau_M)^2 + \tau_T^2 + \tau_{F_z}^2} = \\ &= \sqrt{(13,7 + 40,4)^2 + 30,0^2 + 3,0^2} = 61,9 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

Прочность сварного сечения обеспечена, т.к. $\sigma_{\text{экв}} = 61,9 \text{ МПа} < [\sigma_{\text{св}}] = 90 \text{ МПа}$.

Таким образом, сварное сечение является работоспособным в случае применения как стыковых швов, так и угловых.

Пример 2

Рассчитать сварное соединение, схема которого показана на рисунке 1.5, при следующих исходных данных: $F = 39 \text{ кН}$, $L = 200 \text{ мм}$, $a = 140 \text{ мм}$, $k = 8 \text{ мм}$.

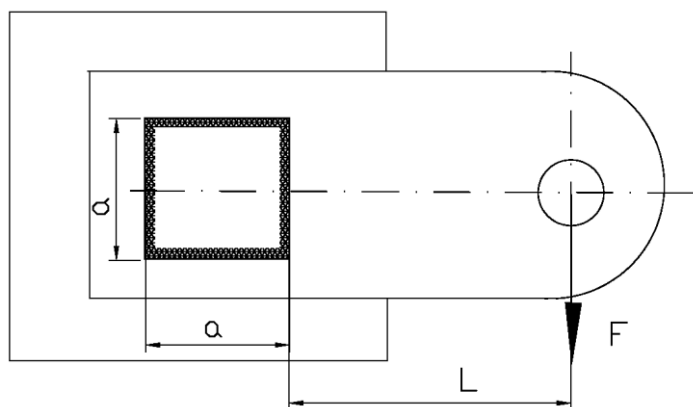


Рис. 1.5

Исходные данные

Материал свариваемых элементов – Ст. 3. Сварка ручная - электродом Э42. Сварные швы – угловые. Эффективная толщина шва 0,7 катета.

Решение

Площадь сечения

$$S = 4 \cdot a \cdot 0,7 k = 4 \cdot 140 \cdot 0,7 \cdot 8 = 3136 \text{ мм}^2.$$

Полярный момент инерции сечения

$$I_p = \frac{4 \cdot 0,7 k \cdot a^3}{3} = \frac{4 \cdot 0,7 \cdot 8 \cdot 140^3}{3} = 20,49 \cdot 10^6 \text{ мм}^4.$$

Моменты сопротивления сечения для определения напряжений в серединах сторон и в углах квадрата:

$$W_p^* = \frac{8}{3} 0,7 k \cdot a^2 = \frac{8}{3} 0,7 \cdot 8 \cdot 140^2 = 292700 \text{ мм}^3;$$

$$W_p^{**} = \frac{8}{3 \cdot \sqrt{2}} 0,7 k \cdot a^2 = \frac{8}{3 \cdot \sqrt{2}} 0,7 \cdot 8 \cdot 140^2 = 207000 \text{ мм}^3.$$

Крутящий момент, действующий в сечении

$$M = F \cdot \left(L + \frac{a}{2} \right) = 39000 \cdot \left(200 + \frac{140}{2} \right) = 10530000 \text{ Нмм}.$$

Напряжения в сечении:

- от силы F_x

$$\tau_F = \frac{F_x}{S} = \frac{39000}{3136} = 12,4 \text{ МПа};$$

- от крутящего момента в серединах сторон и в углах квадрата

$$\tau_M^* = \frac{M}{W_p^*} = \frac{10530000}{292700} = 36,0 \text{ МПа};$$

$$\tau_M^{**} = \frac{M}{W_p^{**}} = \frac{10530000}{207000} = 50,9 \text{ МПа}.$$

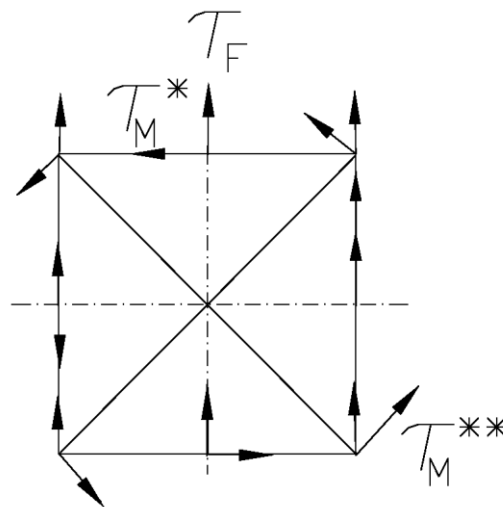


Рис. 1.6

Эквивалентные напряжения (в соответствии с рис 1.6):

- в серединах горизонтальных сторон квадрата

$$\tau_{\text{ЭКВ}}^* = \sqrt{\tau_F^2 + \tau_M^{*2}} = \sqrt{12,4^2 + 36^2} = 38,1 \text{ МПа};$$

- в серединах вертикальных сторон квадрата

$$\tau_{\text{ЭКВ}}^* = \tau_F + \tau_M^* = 12,4 + 36 = 48,6 \text{ МПа};$$

- в углах квадрата

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ЭКВ}}^{**} &= \sqrt{(\tau_F + \tau_M^{**} \cdot \cos \alpha)^2 + (\tau_M^{**} \cdot \sin \alpha)^2} = \\ &= \sqrt{(12,4 + 50,9 \cdot 0,707)^2 + (50,9 \cdot 0,707)^2} = 60,3 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Напряжения в серединах сторон и в углах квадрата ниже допускаемого $[\tau_{\text{св}}] = 80 \text{ МПа}$. Поэтому сварное сечение работоспособно.

Задание № 1.0

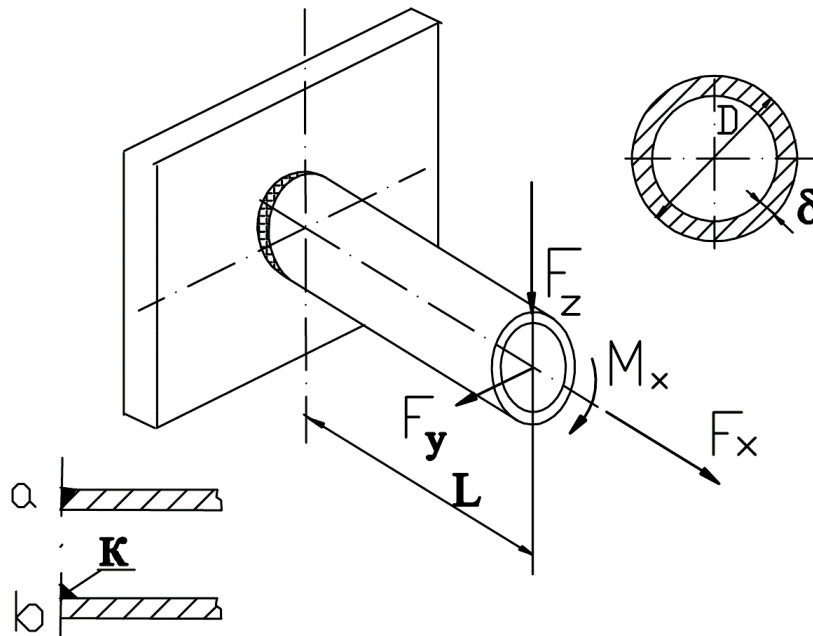


Рис. 1.7 - к заданию 1.0

Таблица 1.0. Варианты задания 1.0

Параметры			Варианты									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F _x , кН			90	72	48	104	96	64	78	48	62	56
F _y , кН			-	32	-	-	-	48	-		-	34
F _z , кН			-	-	-	45	-	-	-	38	-	-
M _x , кНм			8	-	10	-	6,4	-	5,6		9,4	-
D, мм			200	180	160	210	190	140	150	130	180	200
l, мм			-	300	-	270	-	260	-	310	-	230
Св. ШОВ	a	δ, мм	8		10	8		6		8		6
	b	k, мм		10		8	8		10		10	

Задание № 1.1

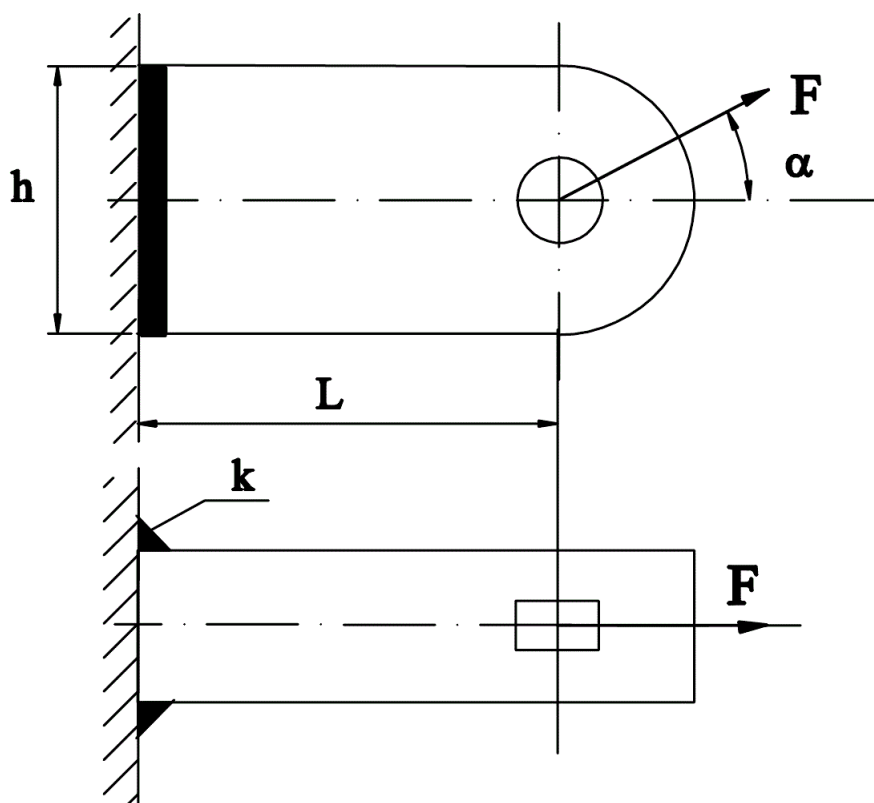


Рис. 1.8 - к заданию 1.1

Таблица 1.1. Варианты задания 1.1

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F , кН	19	24	32	40	28	44	36	26	36	52
α , град	15	18	20	24	30	25	18	16	20	15
L , мм	200	190	210	160	180	130	150	230	170	160
h , мм	150	140	160	180	150	120	140	190	160	180
k , мм	10	8	6	8	10	8	10	6	8	10

Задание № 1.2

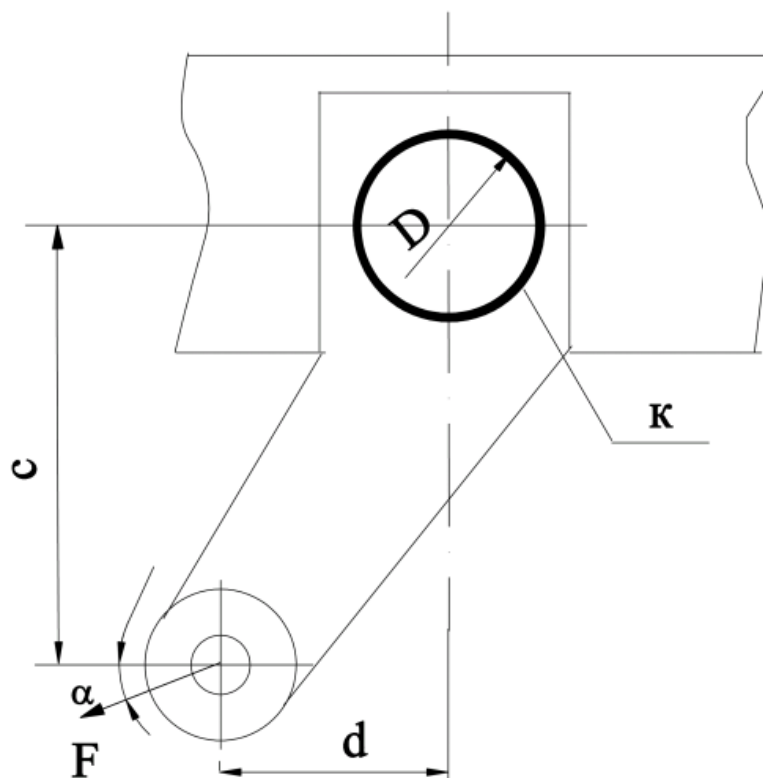


Рис. 1.9 - к заданию 1.2

Таблица 1.2. Варианты задания 1.2

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	17	22	14	19	24	28	19	26	32	24
α , град	10	12	18	15	20	12	15	24	30	20
c, мм	250	230	300	280	240	260	290	240	230	280
d, мм	80	20	30	90	0	40	50	60	0	30
D, мм	190	220	230	180	190	200	170	190	210	180
k, мм	6	10	8	6	8	6	8	6	10	8

Задание № 1.3

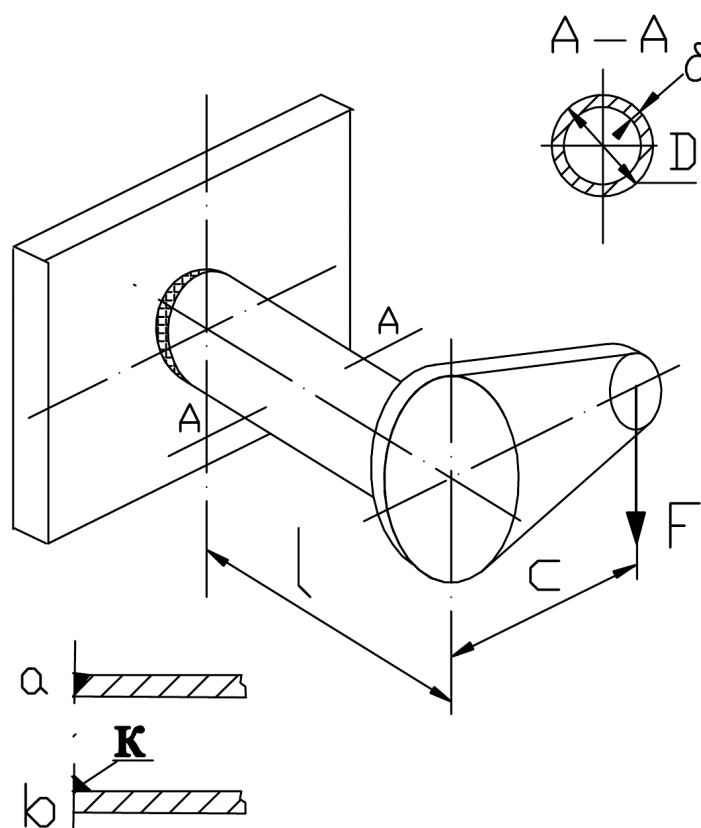


Рис. 1.10 - к заданию 1.3

Таблица 1.3. Варианты задания 1.3

Параметры		Варианты									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН		18	24	32	40	25	32	23	44	38	26
с, мм		220	230	190	210	250	180	220	260	240	270
L, мм		200	220	250	230	190	210	180	240	220	190
D, мм		200	190	180	210	170	180	200	160	170	150
a	δ, мм	8		6		8		6		8	
b	к, мм		10		8		10		8		10

Задание № 1.4

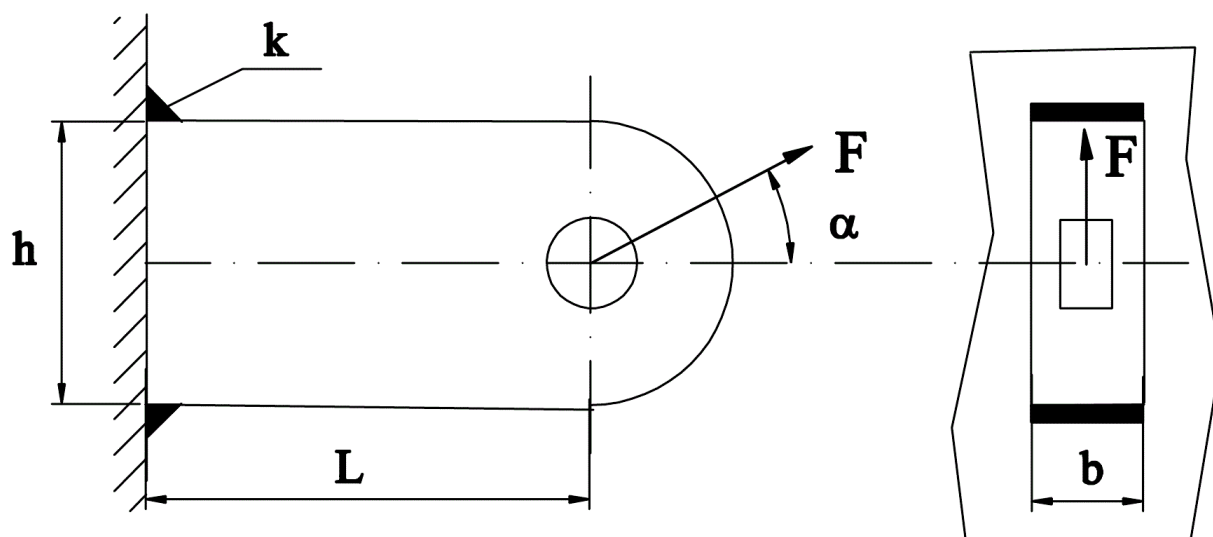


Рис. 1.11 - к заданию 1.4

Таблица 1.4. Варианты задания 1.4

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F , кН	16	23	32	25	36	28	30	26	19	32
α , град	30	45	60	75	24	36	54	64	42	32
b , мм	100	120	90	140	110	150	130	90	80	120
L , мм	240	220	250	260	230	280	230	170	190	200
h , мм	190	160	180	200	190	200	170	180	220	190
k , мм	6	8	10	8	10	8	10	6	8	8

Задание № 1.5

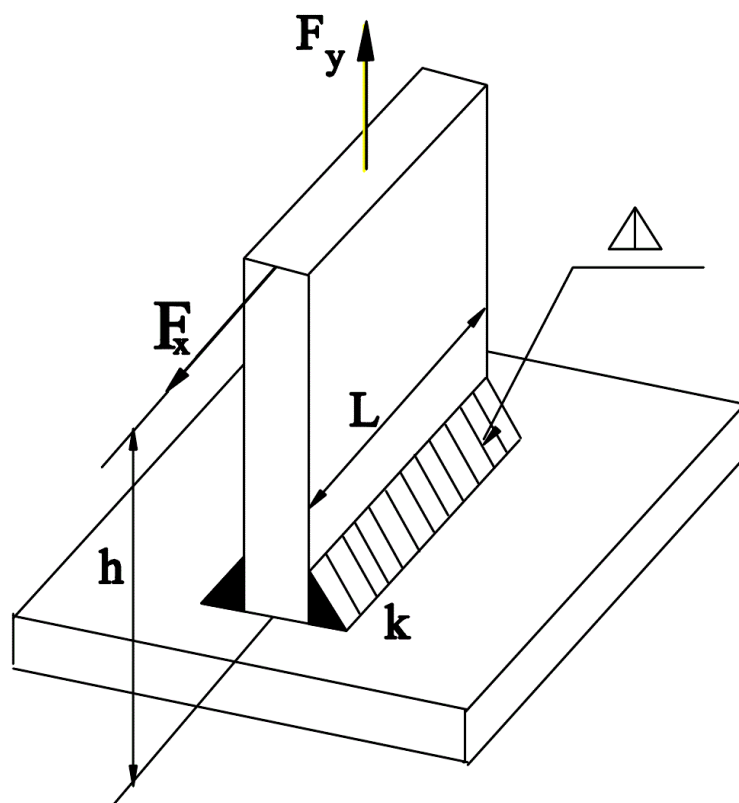


Рис. 1.12 - к заданию 1.5

Таблица 1.5. Варианты задания 1.5

Пара- метры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_x , кН	64	56	42	38	46	32	36	50	52	38
F_y , кН	18	24	20	16	19	15	21	24	18	18
L , мм	130	150	140	120	120	140	130	160	140	130
h , мм	110	120	110	90	100	110	100	130	120	110
k , мм	8	10	8	6	8	6	8	10	8	8

Задание № 1.6

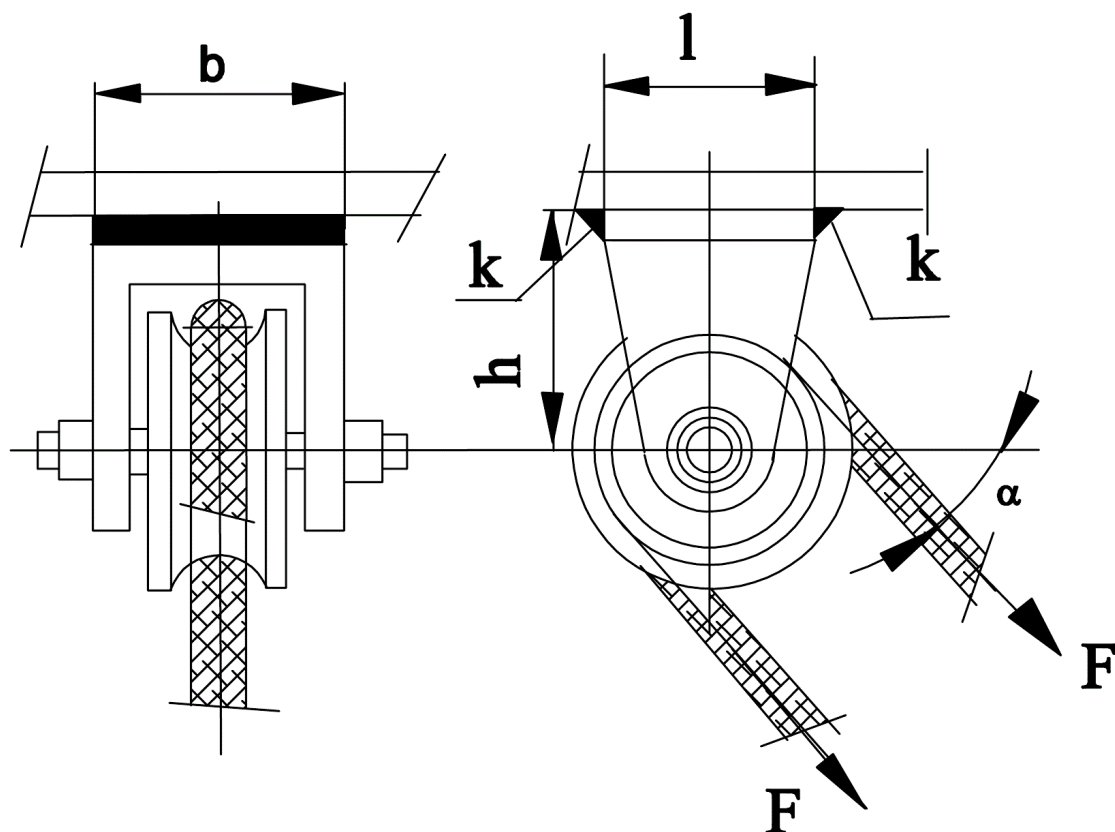


Рис. 1.13 - к заданию 1.6

Таблица 1.6. Варианты задания 1.6

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	19	24	28	32	25	30	26	36	34	18
α , град	10	12	15	18	24	20	16	14	32	25
h, мм	160	150	140	130	120	150	130	120	110	160
l, мм	150	130	140	150	160	180	140	150	130	170
b, мм	110	100	90	120	100	110	80	110	100	90
k, мм	8	10	8	6	8	6	10	8	10	6

Задание № 1.7

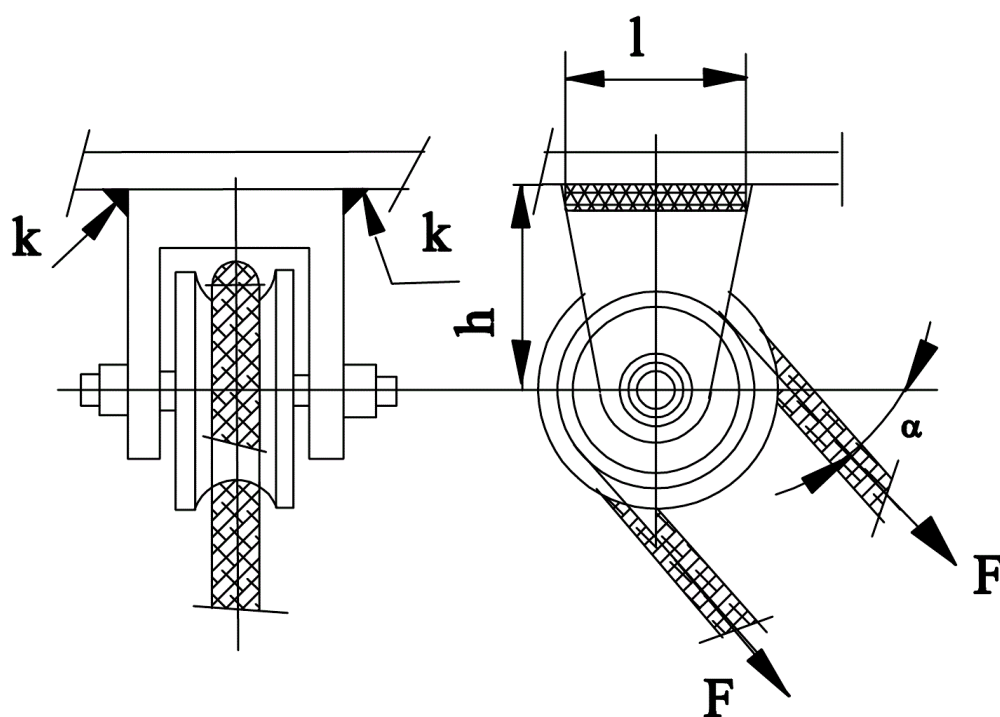


Рис. 1.14 - к заданию 1.7

Таблица 1.7. Варианты задания 1.7

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F , кН	24	19	32	28	30	25	36	26	18	34
α , град	12	9	14	10	15	18	20	16	24	14
h , мм	100	110	90	120	100	140	110	130	150	120
l , мм	90	100	120	130	110	120	140	130	90	150
k , мм	8	8	6	8	8	10	6	8	8	6

Задание № 1.8

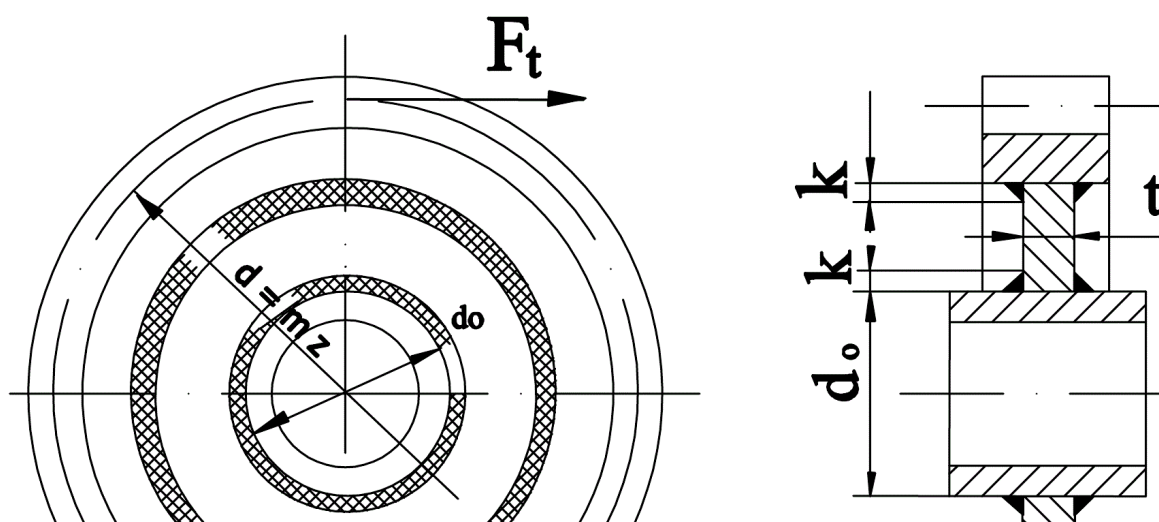


Рис. 1.15 - к заданию 1.8

Таблица 1.8. Варианты задания 1.8

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_t , кН	72	54	48	65	82	45	52	62	58	96
m , мм	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6
Z	120	96	90	124	88	72	132	90	76	145
d_0 , мм	300	340	420	280	310	260	320	290	320	400
k , мм	6	8	5	8	6	5	8	6	5	6

Задание № 1.9

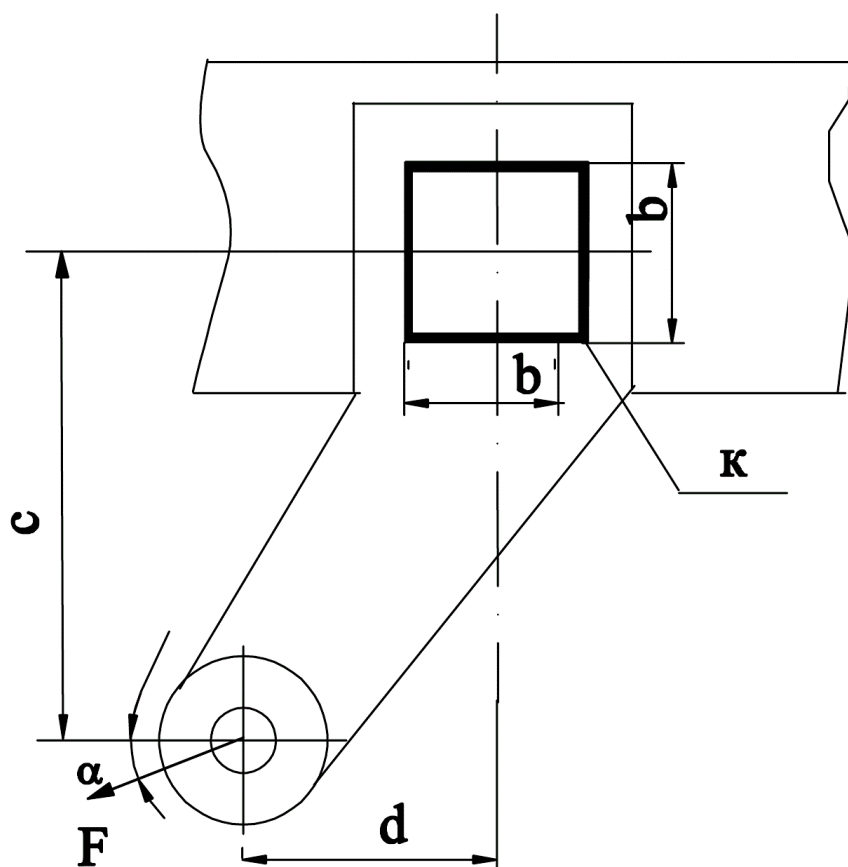


Рис. 1.16 - к заданию 1.9

Таблица 1.9 Варианты задания 1.9

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	17	19	16	21	22	25	19	18	23	21
α , град	12	16	15	18	30	24	10	6	8	12
b, мм	140	150	160	130	170	180	160	140	150	130
c, мм	190	200	210	170	230	250	210	200	220	180
d, мм	30	20	60	40	50	40	70	20	0	30
k, мм	6	5	6	8	6	5	6	8	6	8

Контрольная работа №2

Контрольная работа должна содержать расчет болтового соединения по исходным данным, приведенным в таблице. Расчет должен содержать определение нагрузки, действующей на наиболее нагруженный болт в соединении, выбор диаметра болта по заданному классу прочности, определение напряжений в резьбе болта, определение крутящего момента, необходимого для затяжки болта (момента на ключе) и определение необходимого усилия на ключе.

Примеры выполнения работы

Пример 1

Исходные данные

Схема болтового соединения показана на рис. 2.1. Соединение разгружено от усилий, действующих в плоскости болтового соединения.

Действующая нагрузка $F = 68 \text{ кН}$.

Количество болтов в соединении $z = 5$.

Геометрические характеристики соединения: $L = 300 \text{ мм}$,
 $l = 150 \text{ мм}$, $a = 130 \text{ мм}$, $H = 240 \text{ мм}$, $\alpha = 30^\circ$.

Класс прочности болта 6.6.

Необходимый запас прочности $[n] = 2,5$.

Для обеспечения работоспособности соединения болты должны быть установлены с предварительной затяжкой, обеспечивающей нераскрытие стыка под нагрузкой.

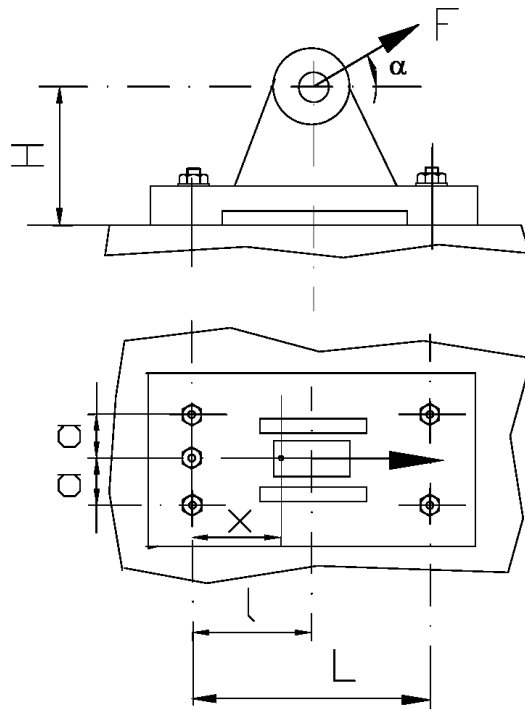


Рис. 2.1

Решение

1. Определяется положение центра жесткости соединения:

$$x^* = \frac{n_1 \cdot x_1 + n_2 \cdot x_2 + \dots + n_k \cdot x_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} = \frac{3 \cdot 0 + 2 \cdot 300}{3 + 2} = 120 \text{ мм},$$

$y^* = a = 130 \text{ мм}$ (так как относительно горизонтальной оси соединение симметрично),

где x_i - координаты x болтов i -го ряда в соединении, n_i - количество болтов в i -том ряду, y_j - координаты y болтов j -го ряда в соединении, m_j - количество болтов в j -том ряду,

$\sum n_i = \sum m_j = z$, где z - общее количество болтов в соединении.

В нашем случае $n_1 = 3$, $n_2 = 2$.

2. Определяются суммарное усилие растяжения и изгибающий момент относительно оси, действующее на соединение:

$$F_{\text{сум}} = F \cdot \sin \alpha = 68000 \cdot 0,5 = 34000 \text{ Н};$$

$$M_y = F \cdot \cos \alpha \cdot H = 68000 \cdot 0,866 \cdot 240 = 14,1 \cdot 10^6 \text{ Нмм.}$$

3. Более нагруженными являются 3 болта, расположенные слева от центра жесткости, так как подвергаются растягивающей нагрузке как от $F_{\text{сум}}$, так и от M_y .

Нагрузка на каждый болт от силы $F_{\text{сум}}$

$$F_{\text{б}}^F = \frac{F_{\text{сум}}}{z} = \frac{34000}{5} = 6800 \text{ Н.}$$

Нагрузка на каждый болт, расположенный слева от центра жесткости

$$F_{\text{б}}^M = \frac{M_y \cdot x^*}{3 \cdot (x^*)^2 + 2 \cdot (L - x^*)^2} = \frac{14,1 \cdot 10^6 \cdot 120}{3 \cdot 120^2 + 2 \cdot (300 - 120)^2} = 15700 \text{ Н.}$$

4. Суммарная нагрузка, действующая на каждый болт, расположенный слева от центра жесткости

$$F_{\text{б}}^{\text{сум}} = F_{\text{б}}^F + F_{\text{б}}^M = 6800 + 15700 = 22500 \text{ Н.}$$

5. Необходимое усилие затяжки

$$F_{\text{зам}} = K \cdot (1 - \aleph) \cdot F_{\text{б}}^{\text{сум}} = 1,5 \cdot (1 - 0,25) \cdot 22500 = 25300 \text{ Н,}$$

где \aleph - коэффициент внешней нагрузки. В большинстве случаев $\aleph = 0,2 \dots 0,3$. Принимаем $\aleph = 0,25$. K - коэффициент запаса затяжки.

Принимается в пределах от 1,25 до 2,5 в зависимости от характера нагрузки и формы стыка. Принимаем $K = 1,5$.

5. Суммарное напряжение, действующее на предварительно затянутый болт

$$\sigma = 1,3 \cdot \frac{F_{\text{зам}}}{S} + \aleph \frac{F_{\text{б}}^{\text{сум}}}{S}.$$

Принимая расчетное напряжение σ равным допускаемому $[\sigma]$, выразим приведенную формулу относительно площади сечения болта по внутреннему диаметру болта S :

$$S = \frac{1,3 \cdot F_{\text{зам}} + \aleph \cdot F_{\text{б}}^{\text{сум}}}{[\sigma]} = \frac{1,3 \cdot 25300 + 0,25 \cdot 22500}{144} = 267 \text{ мм}^2,$$

где значение предела текучести материала болтов σ_m определено по табл. 2 приложения 2, а значение допускаемого напряжения определено по формуле

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{[n]} = \frac{360}{2,5} = 144 \text{ МПа}.$$

1. Исходя из определенного значения площади сечения болта по табл. 1 приложения 2 выбираем болты М24, площадь поперечного сечения которых $S = 338 \text{ мм}^2$

$$\tau = \frac{F_{зам} + \kappa \cdot F_6^{сум}}{\pi \cdot d_1 \cdot H \cdot K \cdot K_m} = \frac{25300 + 0,25 \cdot 22500}{3,14 \cdot 20,75 \cdot 20 \cdot 0,93 \cdot 0,65} = 39,3 \text{ МПа},$$

где d_1 - внутренний диаметр резьбы болта М24;

H - высота гайки (ориентировочно $H = 0,8 d = 0,8 \cdot 24 = 20 \text{ мм}$);

K – коэффициент полноты резьбы. Для метрической резьбы $K = 0,93$;

K_m - коэффициент неравномерности нагрузки по виткам резьбы. Для метрических резьб $K_m = 0,6 \dots 0,7$.

2. Крутящий момент, необходимый для завинчивания гайки при затяжке болта

$$T_{зав} = F_{зам} \left(\frac{D + d_{отв}}{2} f + \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\varphi + \psi) \right),$$

где D - наружный диаметр опорного торца гайки, для М24 $D = 33,5 \text{ мм}$;

$d_{отв}$ - диаметр отверстия (примем его равным $d = 24 \text{ мм}$),

f – коэффициент трения;

d_2 - средний диаметр резьбы, в нашем случае

$$d_2 = \frac{d + d_1}{2} = \frac{24 + 20,75}{2} = 22,4 \text{ мм};$$

φ - приведенный угол трения, $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{f}{1,15} = \operatorname{arctg} \frac{0,2}{1,15} = 9,9^\circ$;

ψ – угол подъема резьбы, $\operatorname{tg} \psi = \frac{p}{\pi \cdot d_2} = \frac{3}{3,14 \cdot 22,4} = 0,043$; $\psi = 2,4^\circ$.

Подставив полученные значения параметров в формулу для определения крутящего момента, получим

$$T_{зав} = 25300 \left(\frac{33,5+24}{2} 0,2 + \frac{22,4}{2} \operatorname{tg}(9,9^0 + 2,4^0) \right) = 207000 \text{ Нмм.}$$

Необходимое усилие на ключе при затяжке болта

$$F_{кл} = \frac{T_{зав}}{L} = \frac{207000}{310} = 668 \text{ Н} = 66,8 \text{ кгс.}$$

Поскольку $F_{кл}$ меньше предельно допустимого усилия $[F_{кл}] = 90 \text{ кгс}$, необходимое усилие затяжки обеспечивается.

Пример 2

Исходные данные

Схема болтового соединения, нагруженного в плоскости соединения, показана на рис. 2.2.

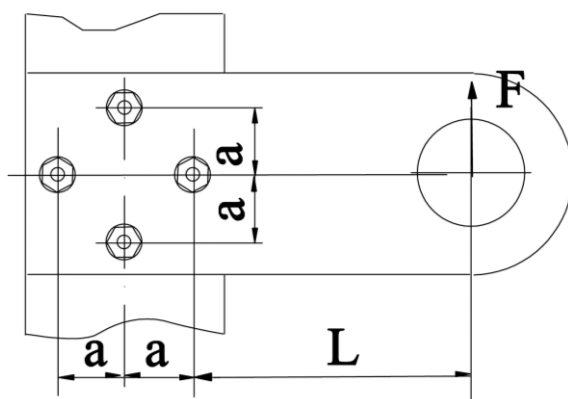


Рис. 2.2.

Действующая нагрузка $F = 7 \text{ кН}$.

Количество болтов в соединении $z = 4$.

Соединение симметрично, поэтому центр жесткости соединения совпадает с центром симметрии.

Геометрические характеристики соединения: $L = 280 \text{ мм}$, $a = 150 \text{ мм}$.

Класс прочности болта 6.6.

Необходимый запас прочности $[n] = 3,0$.

Болты могут быть установлены в соединении в двух вариантах: без зазора и с зазором.

Решение

Момент, действующий относительно центра жесткости болтового соединения

$$M = F \cdot (L + a) = 7000 \cdot (280 + 150) = 3,01 \cdot 10^6 \text{ Нмм.}$$

Нагрузка на каждый болт от силы F

$$F_{\bar{o}}^F = \frac{F}{z} = \frac{7000}{4} = 1750 \text{ Н.}$$

Нагрузка на каждый болт от момента

$$F_{\bar{o}}^M = \frac{M}{z \cdot a} = \frac{3,01 \cdot 10^6}{4 \cdot 150} = 5020 \text{ Н.}$$

Наиболее нагруженным болтом в соединении является правый болт, нагрузка на который равна

$$F_{\bar{o}}^{сум} = F_{\bar{o}}^F + F_{\bar{o}}^M = 1750 + 5020 = 6770 \text{ Н.}$$

При установке болтов без зазора болты работают на срез.

Касательное напряжение в теле болта

$$\tau = \frac{F_{\bar{o}}^{сум}}{S^*}.$$

Принимая расчетное напряжение τ равным допускаемому $[\tau]$, выразим приведенную формулу относительно площади сечения болта по наружному диаметру

$$S^* = \frac{F_{\bar{o}}^{сум}}{[\tau]} = \frac{6770}{72} = 94 \text{ мм}^2,$$

где значение предела текучести материала болтов σ_T определено по табл. 2 приложения 2, а значение допускаемого напряжения определено по формуле

$$[\tau] = \frac{\tau_T}{[n]} = \frac{0,6 \cdot \sigma_T}{[n]} = \frac{0,6 \cdot 360}{3,0} = 72 \text{ МПа}.$$

Минимально допустимая площадь поперечного сечения болтов

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S^*}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 94}{3,14}} = 10,9 \text{ мм.}$$

Выбираются болты М12.

При установке болтов с зазором (черных ботов) для обеспечения работоспособности соединения необходима предварительная затяжка болтов.

Необходимое усилие затяжки болтов

$$F_{зам} = k \frac{F_{\sigma}^{сум}}{f} = 1,2 \frac{6770}{0,2} = 40620 \text{ Н.}$$

Напряжение в теле болта от предварительной затяжки

$$\sigma = 1,3 \cdot \frac{F_{зам}}{S}.$$

Принимая расчетное напряжение σ равным допускаемому $[\sigma]$, выразим приведенную формулу относительно площади сечения болта

$$S = \frac{1,3 \cdot F_{зам}}{[\sigma]} = \frac{1,3 \cdot 40620}{120} = 440 \text{ мм}^2,$$

где значение предела текучести материала болтов σ_m определено по табл. 2 приложения 2, а значение допускаемого напряжения определено по формуле

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{[n]} = \frac{360}{3,0} = 120 \text{ МПа.}$$

Исходя из определенного значения площади сечения болта по табл. 1 приложения 2 выбираем болты М30, площадь поперечного сечения которых $S = 540 \text{ мм}^2$.

Определяем касательное напряжение в резьбе болта

$$\tau = \frac{F_{зам}}{\pi \cdot d_1 \cdot H \cdot K \cdot K_m} = \frac{40620}{3,14 \cdot 26,21 \cdot 24 \cdot 0,93 \cdot 0,65} = 34,0 \text{ МПа,}$$

где d_1 - внутренний диаметр резьбы болта М30;

H - высота гайки (ориентировочно $H = 0,8 d = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ мм}$);

K – коэффициент полноты резьбы. Для метрической резьбы $K = 0,93$;

K_m - коэффициент неравномерности нагрузки по виткам резьбы, для метрических резьб $K_m = 0,6 \dots 0,7$.

Крутящий момент, необходимый для завинчивания гайки при затяжке болта

$$T_{зав} = F_{зам} \left(\frac{D+d_{омс}}{2} f + \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\varphi + \psi) \right),$$

где d_2 - средний диаметр резьбы, в нашем случае

$$d_2 = \frac{d+d_1}{2} = \frac{30+26,2}{2} = 28,1 \text{ мм};$$

φ - приведенный угол трения, $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{f}{1,15} = \operatorname{arctg} \frac{0,2}{1,15} = 9,9^\circ$;

ψ – угол подъема резьбы, $\operatorname{tg} \psi = \frac{p}{\pi \cdot d_2} = \frac{3,5}{3,14 \cdot 28,1} = 4,040$, $\psi = 2,3^\circ$.

Подставив полученные значения параметров в формулу для определения крутящего момента, получим

$$T_{зав} = 40620 \left(\frac{43+30}{2} 0,2 + \frac{28,1}{2} \operatorname{tg}(9,9^\circ + 2,3^\circ) \right) = 424000 \text{ Нмм}.$$

Необходимое усилие на ключе при затяжке болта

$$F_{кл} = \frac{T_{зав}}{L} = \frac{424000}{380} = 1115 \text{ Н} = 115 \text{ кгс}.$$

Поскольку $F_{кл}$ больше предельно допустимого усилия $[F_{кл}] = 90 \text{ кгс}$, необходимое усилие затяжки должно обеспечиваться удлинением ключа.

Задание № 2.0

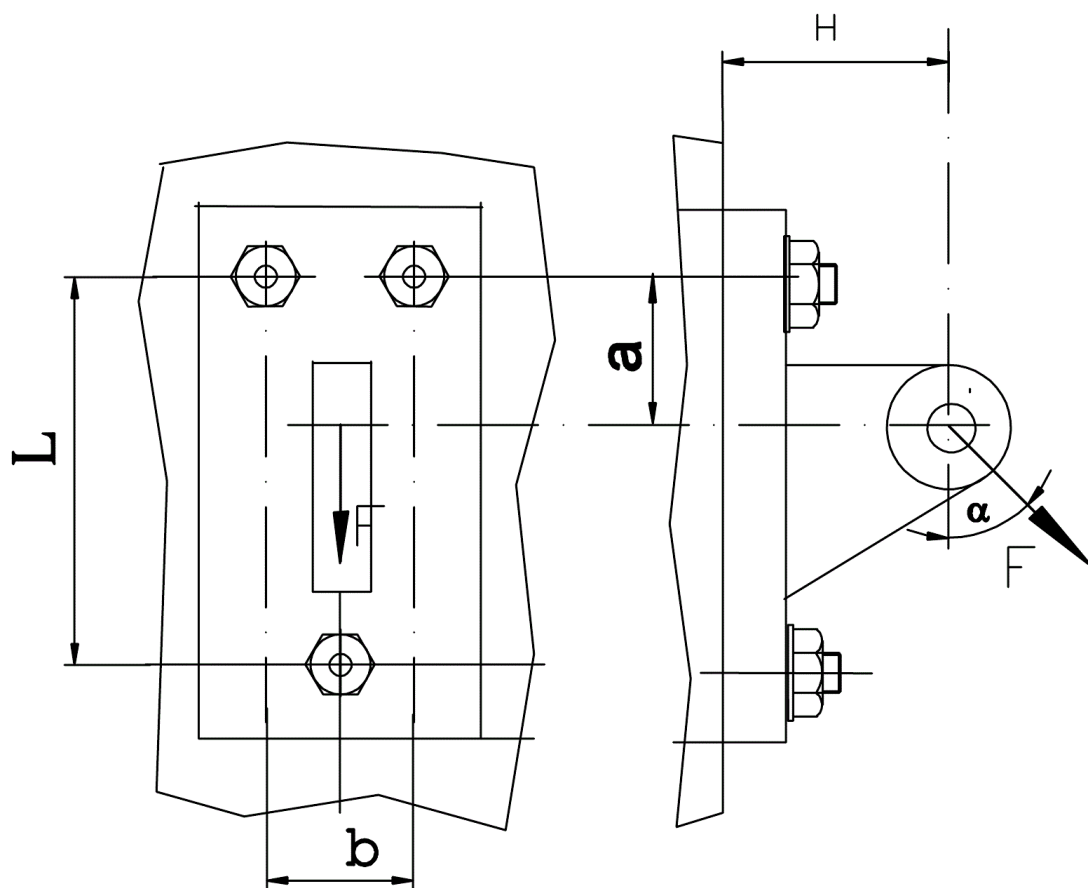


Рис. 2.3 – к заданию 2.0

Таблица 2.0. Варианты задания 2.0

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	34	52	48	38	64	40	72	54	38	60
α , град	15	30	45	60	30	27	36	45	24	32
a, мм	100	120	90	130	120	80	140	130	70	100
L, мм	240	300	280	360	320	260	340	290	220	350
H, мм	280	220	250	400	320	280	260	270	260	290

Задание № 2.1.

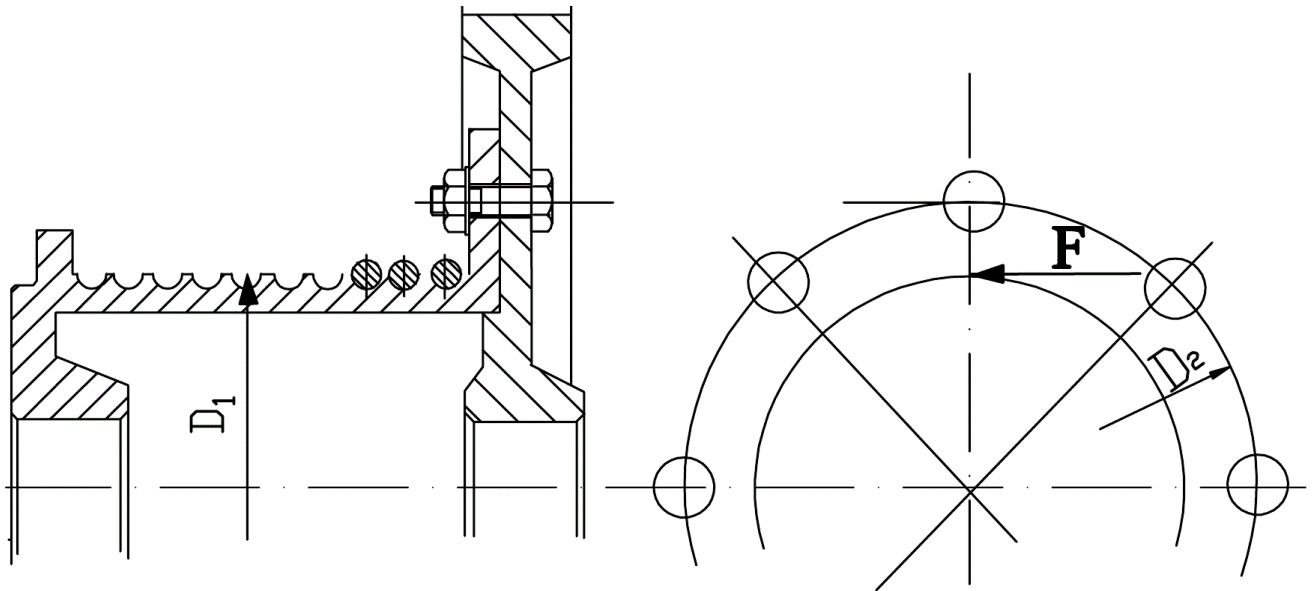


Рис. 2.4 – к заданию 2.1

Таблица 2.1. Варианты задания 2.1

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	26	32	52	25	44	36	54	30	60	66
z	6	8	12	6	8	8	12	8	12	12
D ₁ , мм	300	350	410	280	420	360	450	290	500	470
D ₂ , мм	480	520	600	420	580	500	640	470	640	660

Задание № 2.2

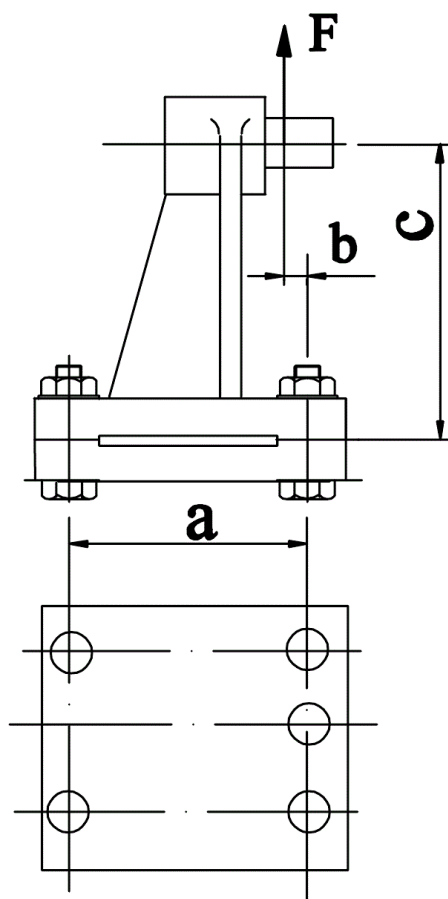


Рис. 2.5 – к заданию 2.2

Таблица 2.2. Варианты задания 2.2

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	60	72	64	45	54	64	68	76	80	58
a, мм	240	300	290	320	200	190	260	220	250	320
b, мм	80	90	120	100	0	50	0	40	70	120

Задание № 2.3

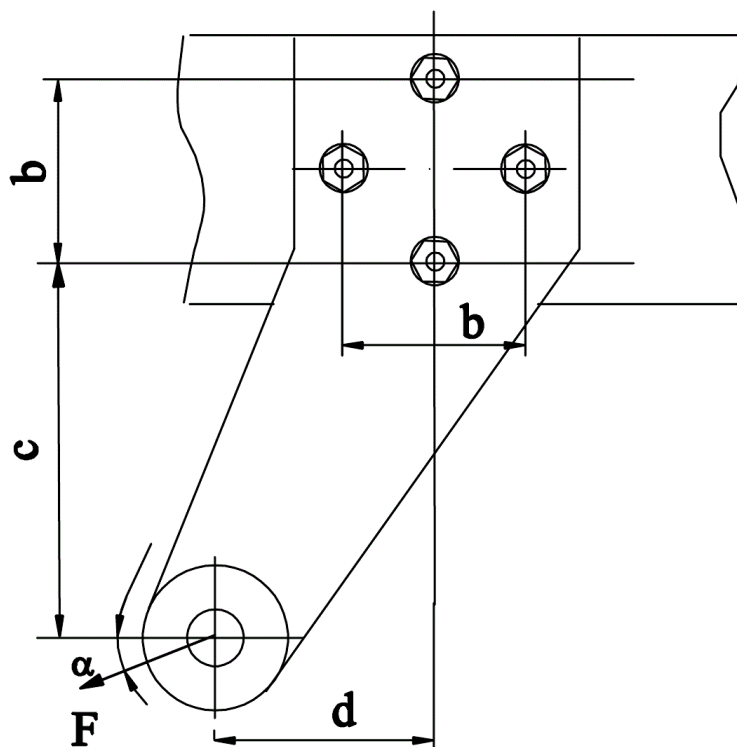


Рис. 2.6 – к заданию 2.3

Таблица 2.3. Варианты задания 2.3

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F , кН	20	24	30	26	36	19	28	32	38	24
α , град	15	12	24	30	36	45	10	16	20	25
b , мм	220	260	280	200	320	240	250	210	290	230
c , мм	200	190	200	160	140	180	230	140	160	100
d , мм	80	70	100	70	0	50	0	40	50	20

Задание № 2.4

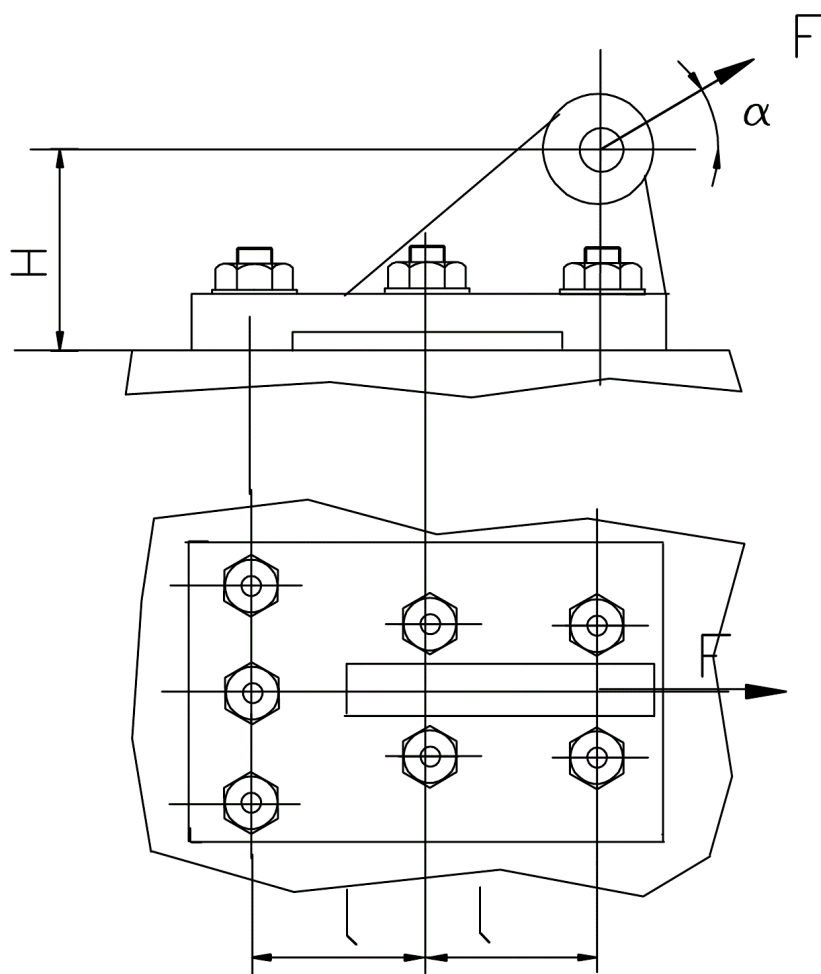


Рис. 2.7 – к заданию 2.4

Таблица 2.4. Варианты задания 2.4

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	60	65	72	56	62	58	52	68	65	75
α , град	10	12	15	16	20	24	30	10	18	20
H, мм	300	340	380	420	360	290	400	320	360	240
L, мм	160	170	190	200	200	150	190	160	210	140

Задание № 2.5

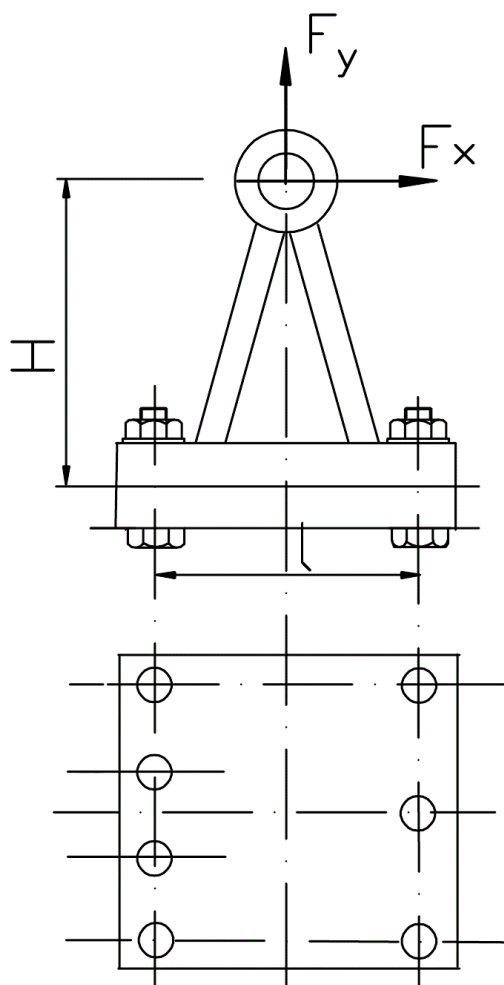


Рис. 2.8 – к заданию 2.5

Таблица 2.5. Варианты задания 2.5

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_x , кН	30	24	20	26	32	18	32	38	34	28
F_y , кН	42	60	50	48	54	60	52	64	48	45
L , мм	260	300	240	200	280	190	220	250	320	290
H , мм	280	280	300	250	320	240	290	310	360	310

Задание № 2.6

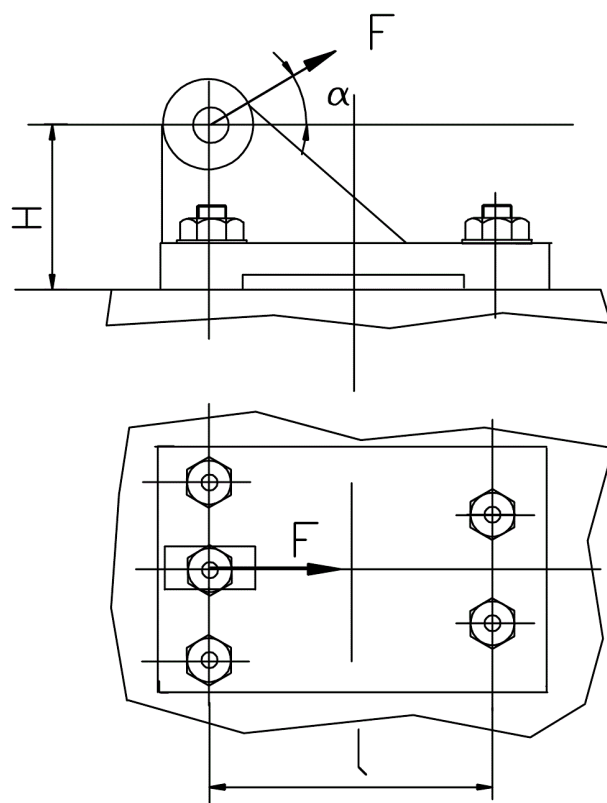


Рис. 2.9 – к заданию 2.6

Таблица 2.6. Варианты задания 2.6

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	72	76	64	56	60	68	74	62	76	66
α, град	45	60	30	48	54	60	52	64	48	45
L, мм	260	300	240	200	280	190	220	250	320	290
H, мм	280	280	300	250	320	240	290	310	360	310

Задание № 2.7

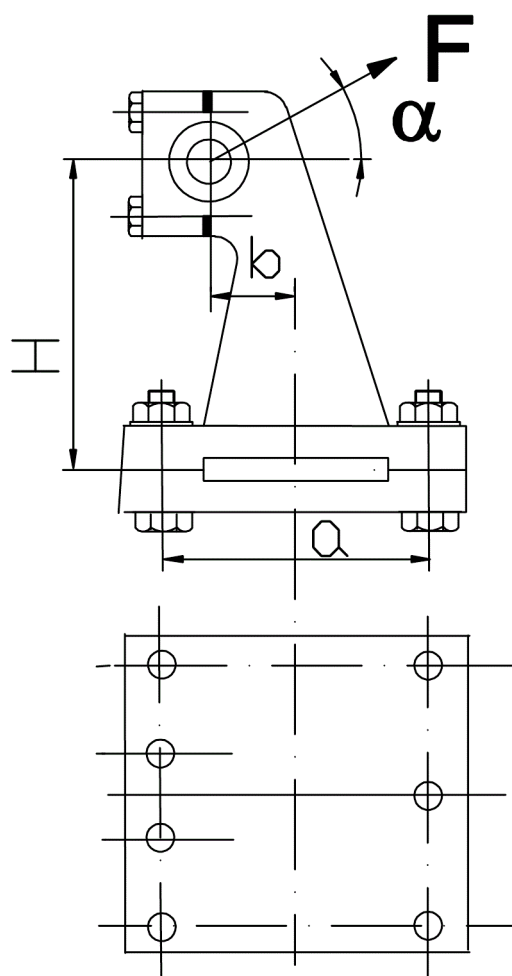


Рис. 2.9 – к заданию 2.7

Таблица 2.7. Варианты задания 2.7

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F , кН	65	72	58	64	70	76	60	56	74	86
α , град	30	48	62	90	54	45	36	60	72	62
a , мм	260	240	320	220	200	250	190	210	280	260
b , мм	80	40	100	50	20	70	30	50	0	60
H , мм	300	260	380	280	220	270	250	290	400	320

Задание № 2.8

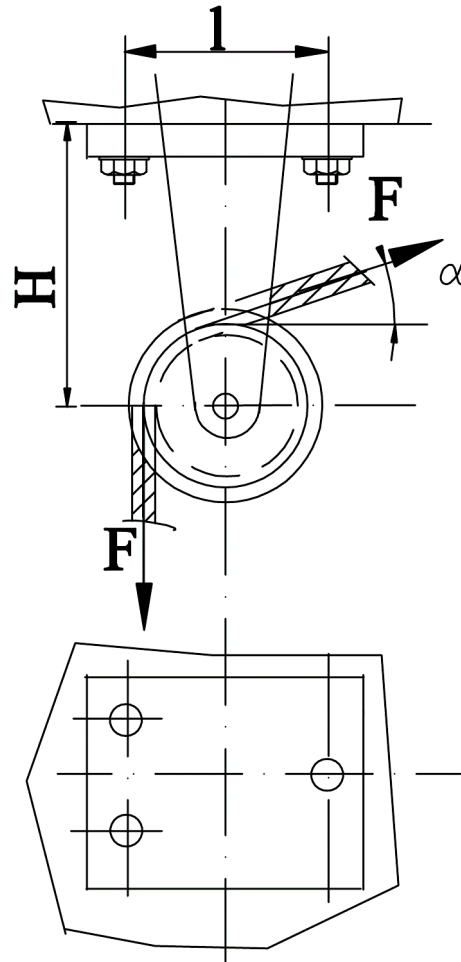


Рис. 2.10 – к заданию 2.8

Таблица 2.8. Варианты задания 2.8

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F , кН	39	54	45	60	72	58	65	48	55	62
α , град	10	0	12	6	15	20	18	10	8	5
l , мм	180	280	270	230	250	210	180	200	190	300
H , мм	220	190	240	180	250	280	160	210	180	270

Задание № 2.9

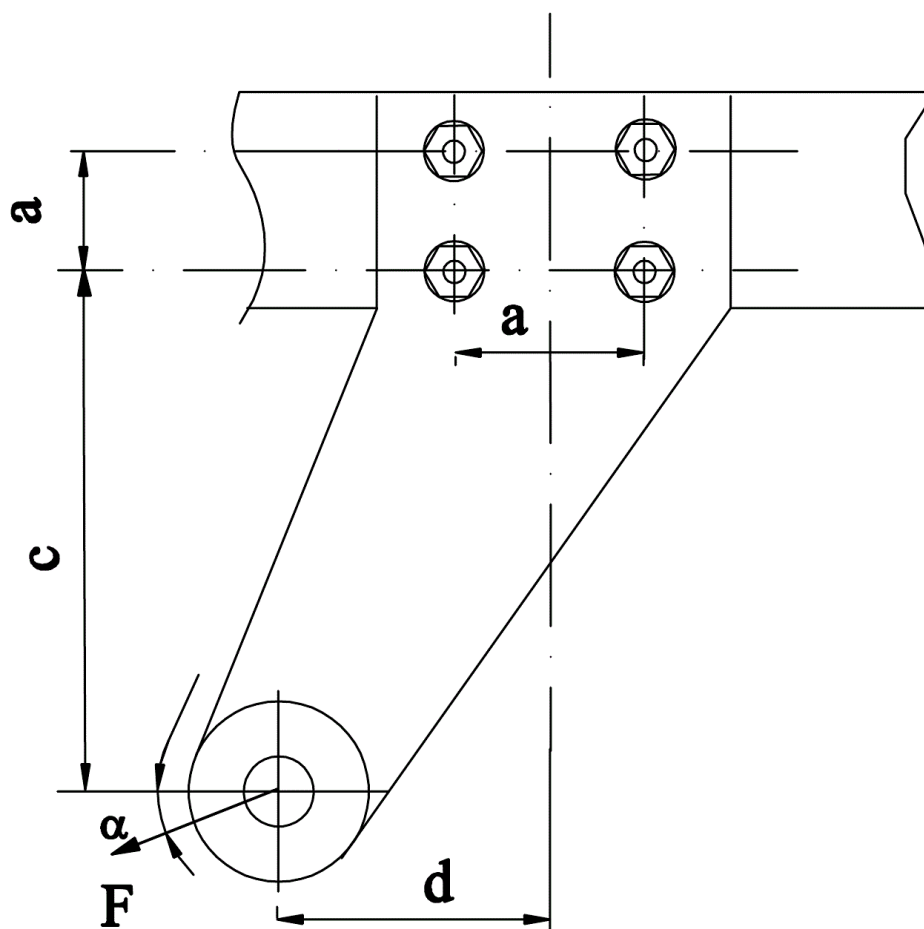


Рис. 2.11 – к заданию 2.9

Таблица 2.9. Варианты задания 2.9

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	23	21	32	24	25	19	26	24	27	25
α , град	10	12	14	18	15	24	20	15	18	22
a, мм	200	240	190	250	180	210	220	230	190	220
c, мм	150	180	140	160	200	170	150	140	120	140
d, мм	40	60	50	0	60	40	70	80	0	50

Контрольная работа № 3

Контрольная работа должна содержать расчет клиноременной передачи по исходным данным, приведенным в таблице. Расчет должен выполняться в следующей последовательности: сначала проектный, затем проверочный. В проектном расчете необходимо выбрать геометрические параметры передачи и действующие в ней нагрузки. Проверочный расчет должен содержать оценку прочности выбранного сечения ремня.

Схема клиноременной передачи показана на рис. 3.1.

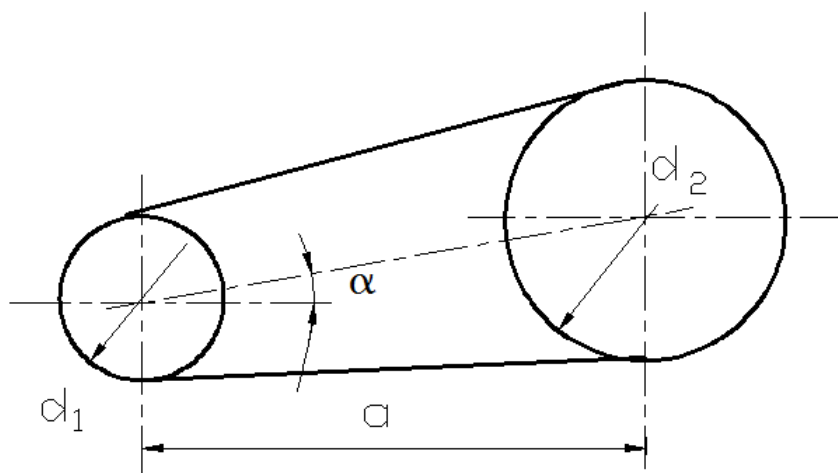


Рис. 3.1

Методика выполнения расчетов показана на примере.

Пример выполнения работы

Исходные данные:

передаваемая мощность $P_{ном} = P_1 = 4 \text{ кВт};$

частота вращения ведущего шкива $n_1 = 750 \text{ 1/мин};$

передаточное отношение $i = 2.$

Сечение клинового ремня нормальное по действующему стандарту ГОСТ 12841- 89.

Решение

1. Проектный расчет клиноременной передачи

1.1. Выбирается сечение ремня по табл.3.1 и графику на рис. 3.1 приложения 3, где область применения данного сечения расположена выше собственной линии и ограничена линией предыдущего сечения. При этом следует иметь в виду, что сечение ремней О применяется для передаваемых мощностей до 2 кВт, а сечение Е – свыше 200 кВт.

Для наших исходных данных выбираем: сечение ремня Б.

Основные размеры сечения клинового ремня (рис. 3.2)

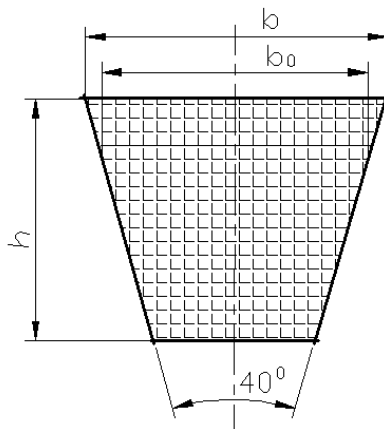


Рис. 3.2

$$b_0 = 14 \text{ мм}, b = 17 \text{ мм},$$

$$h = 10.5 \text{ мм}, A = 138 \text{ мм}^2,$$

$$l_{p \min} = 800 \text{ мм}, l_{p \max} = 6300 \text{ мм},$$

$$d_1^{\min} = 125 \text{ мм}.$$

1.2. Принимается значение диаметра меньшего шкива, равное минимальному $d_1 = d_1^{\min} = 125 \text{ мм}$.

1.3. Принимается среднее значение коэффициента проскальзывания $\varepsilon = 0,015$.

1.4. Определяется значение диаметра большего шкива

$$d_2 = d_1 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot i = 125 \cdot (1 - 0.015) \cdot 2 = 246 \text{ мм}.$$

Значение диаметра округляется до стандартного $d_2 = 250$ мм.

1.5. Определяется фактическое значение передаточного отношения

$$i_{\phi} = \frac{d_2}{d_1(1-\epsilon)} = \frac{250}{125 \cdot (1-0,015)} = 2,03.$$

Расхождение между заданным и фактическим передаточным отношением составляет 1,5% (менее 3-4%)

1.6. Выбирается значение межосевого расстояния в интервале

$a_{min} \dots a_{max}$.

$$a_{min} \geq 0,55(d_1 + d_2) + h;$$

$$a_{max} \leq (1,5 \dots 2,0)(d_1 + d_2).$$

В нашем случае: $a_{min} = 0,55(125 + 250) + 10,5 = 217$ мм;

$$a_{max} = 1,75(125 + 250) = 656$$
 мм.

При выборе межосевого расстояния ориентируемся на рекомендации табл. Принимаем $a = 1,2 \cdot d_2 = 1,2 \cdot 250 = 300$ мм.

1.7. Определяется ориентировочное значение длины ремня по приближенной формуле

$$L_{ориент} = 2 \cdot a + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} = 2 \cdot 300 + 1,57(125 + 250) + \frac{(250 - 125)^2}{4 \cdot 300} = 1202$$
 мм.

Выбирается длина ремня из стандартного ряда (табл. 3.3 приложения 3).

$L_{ст} = 1250$ мм.

1.8. Определяется фактическое значение межосевого расстояния

$$a_{\phi} = \frac{1}{8} \left\{ 2L - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{(2L - \pi(d_2 + d_1))^2 - 8(d_2 - d_1)^2} \right\} = \\ = \frac{1}{8} \{ 2 \cdot 1250 - \pi(250 + 125) + \\ + \sqrt{(2 \cdot 1250 - \pi(250 + 125))^2 - 8(250 - 125)^2} \} = 325$$
 мм.

1.9. Определяется угол охвата ремнем ведущего шкива

$$\alpha_1 = 180^0 - 57^0 \frac{d_2 - d_1}{a} = 180^0 - 57^0 \frac{250 - 125}{325} = 158,1^0.$$

Условие $\alpha_1 > 120^\circ$ для клиновых ремней соблюдено.

1.10. Определяется скорость ремня

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 750}{60 \cdot 1000} = 4,9 \text{ м/с}.$$

Условие $v < 25 \text{ м/с}$ для клиновых ремней соблюдено

1.11. Частота пробегов ремня

$$U = \frac{v}{L} = \frac{4,9}{1,25} = 3,9 \text{ 1/с}.$$

Условие $U < 30 \text{ 1/с}$ соблюдено. При этом гарантируется срок службы ремня 1000...5000 часов.

1.12. Предельная мощность, которая может быть передана одним клиновым ремнем.

$$[P_P] = [P_0] \cdot C_a \cdot C_L \cdot C_P \cdot C_z ,$$

где $[P_0]$ - допускаемая предельная мощность, передаваемая одним ремнем данного сечения эталонной длины в стандартных условиях ($i = 1$, $\alpha_1 = 180^\circ$, нагрузка спокойная). Определяется по табл.3.2. приложения 3. Для наших условий $[P_0] = 1,39 \text{ кВт}$.

C_a — коэффициент, учитывающий влияние на тяговую способность угла охвата на малом шкиве. Определяется по табл. 3.4 приложения 3, для наших условий $C_a = 0,95$.

C_L - коэффициент влияния отношения расчетной длины ремня к базовой. Определяется по табл. 3.5 приложения 3, для наших условий $L/L_0 = 1250/2240 = 0,56$; $C_L = 0,89$.

C_P - коэффициент динамичности нагрузки, для наших условий (спокойной работы) $C_P = 1$ [3].

C_z — коэффициент ожидаемого числа ремней в комплекте клиноременной передачи, определяется по табл. 3.6 приложения 3 для наших условий — (примерно $4/1,39 = 3$) $C_z = 0,95$.

Таким образом

$$[P_p] = 1,39 \cdot 0,95 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 0,95 = 1,12 \text{ кВт.}$$

1.13. Определяется необходимое число ремней в комплекте

$$Z_p = \frac{P_{ном}}{P_p} = \frac{4}{1,12} = 3,57.$$

Принимается необходимое число ремней равным 4. Принятое число ремней не превышает рекомендуемого для передач малой и средней мощности 5...8.

1.14. Определяется сила предварительного натяжения ремня

$$F_0 = \frac{850 \cdot P_{ном} \cdot C_L}{Z_p \cdot v \cdot C_a \cdot C_p} = \frac{850 \cdot 4 \cdot 0,89}{4 \cdot 3,9 \cdot 0,95 \cdot 1} = 193 \text{ Н.}$$

1.15. Определяется окружная сила, передаваемая комплектом ремней

$$F_t = \frac{P_{ном} \cdot 1000}{v} = \frac{4 \cdot 1000}{3,9} = 1026 \text{ Н.}$$

1.16. Определяются силы натяжения ведущей и ведомой ветвей одного клинового ремня

$$F_1 = F_0 + \frac{F_t}{2Z_p} = 193 + \frac{1026}{2 \cdot 4} = 321 \text{ Н.}$$

$$F_2 = F_0 - \frac{F_t}{2Z_p} = 193 - \frac{1026}{2 \cdot 4} = 65 \text{ Н.}$$

2. Проверочный расчет клиноременной передачи

2.1. Определяется максимальное нормальное напряжение в опасном сечении ведущей ветви ремня

$$\sigma_{\max} = \sigma_t + \sigma_u + \sigma_v.$$

2.1.1. Напряжение растяжения

$$\sigma_t = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2 \cdot Z_p \cdot A} = \frac{193}{138} + \frac{1026}{2 \cdot 4 \cdot 138} = 2,33 \text{ МПа.}$$

2.1.2. Напряжение изгиба

$$\sigma_u = E \frac{h}{d_1 \cdot A} = 100 \frac{10,5}{125 \cdot 138} = 0,06 \text{ МПа.}$$

2.1.3. Напряжение от центробежных сил

$$\sigma_v = \rho \cdot v^2 \cdot 10^{-6} = 1300 \cdot 3,9^2 \cdot 10^{-6} = 0,02 \text{ МПа}.$$

В этой формуле $\rho = 1250 \dots 1400 \text{ кг/м}^2$ - плотность материала ремня.

Получаем $\sigma_{\text{макс}} = 2,33 + 0,06 + 0,02 = 2,41 \text{ МПа}.$

2.2. Допускаемые напряжения растяжения $[\sigma] = 10 \text{ МПа}.$

Поскольку $\sigma_{\text{макс}} < [\sigma]$, работоспособность клиноременной передачи обеспечена.

Задания к контрольной работе № 3

Схема передачи показана на рис. 3.1

Таблица 3.1.

Параметр	Задание									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P, кВт	1,5	2,2	3	4	5,5	5,5	4	3	2,2	1,5
i	1,8	2,24	2,8	3,15	1,8	2,5	4	3,15	2,8	4

Таблица 3.2

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_1, \text{1/мин}$	750	1000	750	1000	1500	1000	750	1000	750	750
α^0	10	0	15	12	5	10	0	6	10	12
Работа передачи двухсменная с легкими толчками										

Контрольная работа № 4

Контрольная работа должна содержать расчет цепной передачи по исходным данным, приведенным в таблице. Расчет должен выполняться в следующей последовательности: сначала проектный, затем проверочный. В проектном расчете необходимо выбрать геометрические параметры передачи: шаг цепи, межосевое расстояние, длину цепи, диаметры звездочек и действующие в ней нагрузки. Проверочный расчет должен содержать оценку прочности и износостойкости выбранного сечения ремня.

Методика выполнения расчетов показана на примере.

Пример выполнения работы

Исходные данные:

Передаваемая мощность $P_{ном} = P_1 = 7,5 \text{ кВт}$.

Частота вращения ведущей звездочки $n_1 = 400 \text{ 1/мин}$.

Передаточное отношение $i = 2$.

Цепь роликовая по ГОСТ13568-97 однорядная типа ПР.

Нагрузка переменная с небольшими колебаниями.

Межосевое расстояние, рекомендуемое по шагу цепи.

Расположение линии центров – горизонтальное.

Регулировка осуществляется передвижением оси малой звездочки.

Работа передачи в запыленной среде.

Производство односменное.

Решение

1. Назначается число зубьев ведущей звездочки. В соответствии с рекомендацией табл. 4.1 приложения 4 при $i = 1...2$ $Z_1 = 30...27$. Принимаем $Z_1 = 27$.

2. Число зубьев ведомой звездочки $Z_2 = Z_1 \cdot i = 27 \cdot 2 = 54 < Z_{2max} = 100...120$.

3. Определяется расчетная мощность P_p , эквивалентная по своему влиянию на долговечность цепи мощности P_1 , приложенной в условиях работы базовой передачи (табл. 4.2 и 4.3 приложения 4)

$$P_p = P_1 \cdot K_z \cdot K_n,$$

где K_z - коэффициент числа зубьев; $K_z = Z_{01} / Z_1$, $Z_{01} = 25$. В рассматриваемом примере $K_z = 25/27 = 0.926$;

K_n - коэффициент частоты вращения; $K_n = n_{01} / n_1$, принимается ближайшей к расчетной из стандартного ряда $K_n = 400/400 = 1.0$;

K_z - коэффициент эксплуатации, определяемый по формуле

$$K_z = K_d \cdot K_a \cdot K_n \cdot K_{рег} \cdot K_c \cdot K_{реж},$$

где K_d - коэффициент динамической нагрузки;

K_a - коэффициент межосевого расстояния или длины цепи;

K_n - коэффициент наклона передачи к горизонту;

$K_{рег}$ - коэффициент способа регулировки натяжения цепи;

K_c - коэффициент смазки и загрязнения передачи;

$K_{реж}$ - коэффициент режима нагрузки.

Все приведенные коэффициенты определяются по табл. 4.2 приложения 4, в нашем случае принимаем: $K_d = 1,2$ при работе с небольшими колебаниями, $K_a = 1$, $K_n = 1$, $K_{рег} = 1$ – при регулировке натяжения за счет одной из звездочек, $K_c = 1,3$ – при работе с небольшими

скоростями в запыленном помещении, $K_{реж} = 1.0$ – при односменной работе. И коэффициент эксплуатации

$$K_9 = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 1,56.$$

Расчетная мощность

$$P_p = 7,5 \cdot 0,926 \cdot 1,0 \cdot 1,56 = 10,8 \text{ кВт}.$$

4. По определенной величине P_p и принятой частоте вращения $n_1 = 400 \text{ 1/мин}$ назначается цепь по ГОСТ 13568-97 типа ПР и по табл. 4.3 определяются ее шаг и межосевое расстояние.

В рассматриваемом примере при наших исходных данных и $P_p < [P_p] = 19 \text{ кВт}$ принимаем цепь ПР 25,4-56700. Шаг цепи $p_{ц} = 25,4 \text{ мм}$. Принятое значение шага меньше максимально допустимого при частоте вращения 400 1/мин , равного $44,45 \text{ мм}$.

5. Определяется предварительно межосевое расстояние. Из условия долговечности цепи на практике рекомендуется принимать $a = (30...50) p_{ц}$. Нижние значения принимаются для $i = 1...2$, верхние для $i = 6...7$. Примем в нашем случае $a = 40 \cdot 25,4 = 1016 \text{ мм}$.

6. Определяется скорость цепи

$$v = \frac{z_1 \cdot p \cdot n_1}{60 \cdot 1000} = \frac{27 \cdot 25,4 \cdot 400}{60 \cdot 1000} = 4,57 \text{ м/с}.$$

7. Определяется длина цепи, выраженная в шагах или числах звеньев цепи

$$L_p = \frac{2a}{p_{ц}} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi}\right)^2 \frac{p_{ц}}{a} = \frac{1016}{25,4} + \frac{27 + 54}{2} + \left(\frac{54 - 27}{2 \cdot 3,14}\right)^2 \frac{25,4}{1016} = 120,96.$$

Это значение округляем до целого числа, чтобы не применять специальных соединительных звеньев. Принимаем $L_p = 121$.

8. Уточняется межосевое расстояние

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{p_u}{4} \left\{ \left(L_p - \frac{z_1 + z_2}{2} \right) + \sqrt{\left(L_p - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - 8 \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2} \right\} \\
 &= \frac{25,4}{4} \left\{ \left(121 - \frac{27 + 54}{2} \right) + \sqrt{\left(121 - \frac{27 + 54}{2} \right)^2 - 8 \left(\frac{54 - 27}{2\pi} \right)^2} \right\} = 1016,5 \text{ мм.}
 \end{aligned}$$

Передача работает лучше при небольшом провисании холостой ветви цепи, поэтому расчетное межосевое расстояние рекомендуют уменьшать примерно на $(0,002...0,004) a$. В рассматриваемом примере $\Delta a = 0,003 a = 0,003 \cdot 1016,5 = 3 \text{ мм.}$

Принимаем $a = 1013,5 \text{ мм.}$

9. Определяем диаметры звездочек

$$d_1 = \frac{p_u}{\sin \frac{\pi}{z_1}} = \frac{25,4}{\sin \frac{180^\circ}{27}} = 219 \text{ мм;}$$

$$d_2 = \frac{p_u}{\sin \frac{\pi}{z_2}} = \frac{25,4}{\sin \frac{180^\circ}{54}} = 438 \text{ мм.}$$

10. Определяется окружное усилие в цепи

$$F_t = \frac{P}{v} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{4,57} = 1641 \text{ Н.}$$

Считаем его равным натяжению ведущей ветви рассчитываемой передачи (для практических расчетов принимаем равной нулю натяжение ведомой ветви)

11. Определяется удельное давление в шарнирах

$$p = \frac{F_t}{B \cdot d} = \frac{1641}{22,61 \cdot 7,95} = 9,13 \text{ МПа},$$

где B – длина ступицы; d - диаметр валика. По табл. 4.3 приложения 4 находим

$$B = 13.28 \text{ мм}, \quad d = 5.08 \text{ мм}.$$

$[p_0]$ – допустимое давление в шарнирах цепи. По табл. 4.5 приложения 4 $[p_0] = 24 \text{ МПа}$.

Определяем допустимое удельное давление в шарнирах для конкретной передачи

$$[p] = \frac{[p_0]}{K_s} = \frac{26}{1,56} = 16,7 \text{ МПа}.$$

Поскольку давление в шарнирах цепи ниже допустимого, прочность и износостойкость цепи доказаны.

Задания к контрольной работе № 4

Схема передачи показана на рис. 3.1

Таблица 4.1

Пара- метр	Задание									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р, кВт	1,5	2,2	3	4	5,5	5,5	4	3	2,2	1,5
i	1,8	2,24	2,8	3,15	1,8	2,5	4	3,15	2,8	4

Таблица 4.2

Пара- метр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n_1 , 1/мин	400	800	600	200	1200	1000	600	800	600	400
α^0	10	0	15	24	12	15	0	18	20	12
Работа передачи двухсменная с легкими толчками										

ПИСЬМЕННЫЕ РАБОТЫ

Кроме контрольных работ студенты обязаны выполнить письменные работы (рефераты) по предлагаемому перечню вопросов. Номера вопросов выбираются в соответствии с таблицей вариантов контрольных вопросов по двум последним цифрам учебного шифра, если от преподавателя не последует иных указаний.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ-ЗАОЧНИКОВ

Предлагаемый перечень вопросов имеет целью активизацию и повышение эффективности самостоятельной работы студентов-заочников, развитие навыков работы с учебной литературой при изучении курса «Детали машин и основы конструирования». Ответы на предлагаемые вопросы должны представляться в виде кратких рефератов, составляемых на основе изучения соответствующих разделов учебной литературы. Но они ни в коем случае не могут являться результатом простого переписывания текста учебника. Весьма ценной представляется иллюстрация теоретических положений примерами из практической деятельности автора реферата.

Работы, представляющие собой дословную копию рефератов, выполненных другими студентами, не будут зачтены.

Оценка выполненной работы учитывается при сдаче зачетов и экзаменов.

Полнота ответа на вопрос и его содержание определяются программой курса.

1. Соединения деталей машин

1.1. Разъемные соединения. Разновидности разъемных соединений. Область применения различных типов разъемных соединений.

1.2. Резьбовые соединения. Типы резьб, применяемых в машиностроении. Обоснование выбора типа и формы профиля резьбы. Технические характеристики и область применения различных типов резьб.

1.3. Конструктивные формы болтов, винтов, шпилек, гаек. Область применения различных форм. Укажите, с какими типами крепежных изделий Вы встречались в своей практической деятельности, в каких конструкциях они применяются

1.4. Приведите примеры напряженных болтовых соединений. Расчет ненапряженных и напряженных болтовых соединений. Расчет эксцентрично нагруженных болтов. Сравните степень нагруженности болтовых соединений различных типов.

1.5. Расчет элементов резьб. Обоснование размеров гайки.

1.6. Сварные соединения. Разновидности способов сварки, конструкция сварных швов. Методика расчета стыковых швов. Расчет швов при соединении деталей внахлестку и в «тавр».

1.7. Эксплуатационные характеристики сварных соединений и область их применения. Сравнение заклепочных и сварных соединений. Приведите известные Вам примеры применения заклепочных и сварных соединений.

1.8. Шпоночные соединения, их назначение и конструктивные формы. Область применения каждого типа шпонок. Методика подбора шпонок.

1.9. Проверочный расчет призматической, сегментной, клиновой, тангенциальной шпонок.

1.10. Зубчатые соединения. Разновидности, характеристики, область применения различных форм зубьев (шлицев). Методика расчета зубчатых (шлицевых) соединений.

2. Механические передачи

2.1. Ременные передачи. Общие сведения, принцип действия и классификация. Технические характеристики и область применения ременных передач.

2.2. Основы расчета ременных передач. Усилия и напряжения в ветвях ременной передачи. Виды скольжения ремня по шкивам. Принцип расчета плоскоремennых передач по кривым скольжения.

2.3. Клиноременная передача. Эксплуатационные характеристики и сравнение с плоскоремennой передачей. Принцип расчета клиноременной передачи.

2.4. Зубчатые передачи. Классификация зубчатых передач. Основные достоинства и недостатки зубчатых передач.

2.5. Косозубая зубчатая передача. Понятие об эквивалентном цилиндрическом зубчатом колесе. Соотношение параметров. Достоинства и недостатки косозубых колес, их сравнение с прямозубыми. Силы, действующие в зацеплении цилиндрических колес.

2.6. Виды разрушения зубьев и рабочих поверхностей зубчатых колес. Принцип расчета зубчатых передач. Основные расчетные соотношения. Оценка влияния силовых и геометрических факторов на нагрузочную способность зубчатых передач. Материалы, виды упрочнения зубьев. Допускаемые напряжения.

2.7. Коническая передача. Основы геометрии и кинематики. Область применения в горной технике. Эксплуатационные характеристики конических передач. Силы, действующие в зацеплении конических колес. Основные соотношения силового расчета конических передач.

2.8. Червячная передача. Основные теоретические соотношения. Конструкция элементов червячной передачи: червяк, червячное колесо. Передаточное отношение червячной передачи. Самотормозящая червячная передача. КПД передачи. Трение в червячной передаче. Материалы элементов червячной передачи. Достоинства и недостатки, область применения червячной передачи. Приведите известные Вам примеры из Вашей практики применения червячной передачи. Какие эксплуатационные свойства наблюдались Вами в процессе эксплуатации.

2.9. Силовой расчет червячной передачи. Силы, действующие в зацеплении. Критерии работоспособности. Принцип силового расчета червячной передачи, расчетные параметры. Расчет червячной передачи на нагрев. Краткие сведения о глобоидной передаче.

2.10. Цепная передача. Принцип действия и сравнительная оценка. Область применения. Основные характеристики. Конструкция основных элементов: звездочки, наиболее распространенные типы цепей. Критерии работоспособности. Методика расчета.

3. Оси, валы, подшипники, муфты

3.1. Оси. Принципы классификации осей. Основы конструирования осей. Ось равного сопротивления. Проектирование осей, расчет осей на прочность. Приведите известные Вам примеры применения осей.

3.2. Валы. Отличия валов от осей. Принцип конструирования валов. Проектный расчет валов на кручение. Методика проверочного расчета валов на прочность и жесткость. Наблюдали ли Вы разрушение валов. В чем причина, характер разрушения.

3.3. Подшипники скольжения. Общие сведения и применение. Условия работы и виды разрушения. Конструктивные формы подшипников. Материалы основных элементов. Конструкция смазочных

устройств. Общие принципы расчета подшипников полужидкостного трения.

3.4. Подшипники качения. Общие сведения о конструкции подшипников качения. Основные элементы конструкции. Классификация подшипников качения.

3.5. Обзор основных типов подшипников качения. Область применения каждого типа. Основные достоинства и недостатки, эксплуатационные характеристики. Разделение зон использования подшипников качения и скольжения.

3.6. Критерии работоспособности, виды разрушения подшипников качения. Методика подбора и проверочного расчета подшипников качения. Какие виды разрушения подшипников качения наблюдали Вы лично.

3.7. Муфты. Общие сведения, назначение и классификация. Какие типы муфт имеются на Вашем предприятии. Опишите случаи разрушения их элементов.

3.8. Опишите конструкции наиболее распространенных типов глухих и компенсирующих муфт. Укажите область их применения, достоинства и недостатки различных типов.

3.9. Опишите конструкции наиболее распространенных типов упругих и управляемых, сцепных и самоуправляемых муфт. Укажите область применения и эксплуатационные характеристики каждого типа.

3.10. Пружины. Общие сведения, назначение и классификация. Витые пружины, конструкция и основные геометрические размеры. Материалы пружин. Принцип расчета.

ТАБЛИЦА НОМЕРОВ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

(номер варианта соответствует двум последним цифрам учебного шифра
зачетной книжки студента)

№ вар.	Номера вопросов			№ вар.	Номера вопросов			№ вар.	Номера вопросов		
00	1.5	2.7	3.2	34	1.8	2.7	3.7	68	1.6	2.3	3.9
01	1.2	2.2	3.9	35	1.5	2.5	3.3	69	1.2	2.8	3.1
02	1.3	2.9	3.9	36	1.3	2.2	3.10	70	1.4	2.1	3.7
03	1.7	2.4	3.4	37	1.2	2.10	3.8	71	1.7	2.6	3.2
04	1.9	2.5	3.6	38	1.9	2.9	3.3	72	1.8	2.8	3.2
05	1.4	2.8	3.9	39	1.1	2.8	3.7	73	1.3	2.3	3.8
06	1.10	2.3	3.3	40	1.10	2.5	3.1	74	1.2	2.6	3.4
07	1.3	2.1	3.8	41	1.6	2.7	3.4	75	1.10	2.7	3.5
08	1.1	2.1	3.9	42	1.5	2.10	3.9	76	1.8	2.2	3.6
09	1.4	2.9	3.7	43	1.3	2.4	3.6	77	1.6	2.5	3.9
10	1.7	2.7	3.2	44	1.1	2.9	3.10	78	1.3	2.8	3.8
11	1.3	2.5	3.8	45	1.7	2.10	3.7	79	1.9	2.3	3.10
12	1.6	2.10	3.1	46	1.6	2.8	3.6	80	1.2	2.7	3.9
13	1.8	2.3	3.4	47	1.5	2.9	3.8	81	1.9	2.4	3.7
14	1.5	2.4	3.3	48	1.2	2.5	3.2	82	1.1	2.2	3.8
15	1.9	2.10	3.6	49	1.10	2.6	3.6	83	1.2	2.4	3.10
16	1.1	2.7	3.6	50	1.1	2.6	3.10	84	1.10	2.9	3.1
17	1.10	2.10	3.5	51	1.0	2.1	3.4	85	1.1	2.5	3.5
18	1.4	2.5	3.7	52	1.2	2.9	3.4	86	1.7	2.3	3.7
19	1.3	2.3	3.1	53	1.9	2.2	3.3	87	1.9	2.7	3.1
20	1.8	2.5	3.4	54	1.3	2.7	3.9	88	1.4	2.4	3.9
21	1.5	2.1	3.10	55	1.8	2.10	3.2	89	1.5	2.2	3.5
22	1.9	2.8	3.3	56	1.4	2.6	3.1	90	1.3	2.6	3.3
23	1.6	2.2	3.1	57	1.7	2.5	3.0	91	1.8	2.9	3.2
24	1.7	2.9	3.5	58	1.5	2.3	3.5	92	1.4	2.10	3.4
25	1.6	2.6	3.7	59	1.6	2.4	3.8	93	1.5	2.8	3.5
26	1.2	2.1	3.6	60	1.9	2.1	3.4	94	1.6	2.1	3.5
27	1.4	2.3	3.2	61	1.1	2.4	3.5	95	1.2	2.3	3.6
28	1.8	2.6	3.8	62	1.10	2.2	3.6	96	1.9	2.6	3.5
29	1.7	2.1	3.3	63	1.4	2.7	3.8	97	1.1	2.10	3.10
30	1.6	2.9	3.6	64	1.7	2.2	3.4	98	1.10	2.8	3.4
31	1.4	2.2	3.2	65	1.3	2.10	3.3	99	1.8	2.4	3.3
32	1.7	2.7	3.10	66	1.5	2.6	3.9				
33	1.10	2.4	3.1	67	1.8	2.1	3.2				

ПРИМЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИ ЗАЩИТЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

1. Зачем необходимо применение предварительной затяжки болтов?
2. Каковы способы стопорения болтов от развинчивания ?
3. Каковы возможности применения болтовых соединений при нагрузках, действующих в плоскости соединения?
4. Как оценивается прочность болта, установленного внецентренно относительно нагрузки?
5. Изменяется ли прочность сварного соединения, если вместо стыковых швов применить угловые и наоборот?
6. Как оценивается прочность сварного шва относительно прочности соединяемых деталей?
7. Каковы преимущества клиноременных передач по сравнению с плоскоременными?
8. Что является критерием работоспособности цепной передачи?

ПРИМЕРНЫЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Критерии работоспособности деталей машин.
2. Способы стопорения болтовых соединений.
3. Классификация резьбовых изделий по профилю резьбы.
4. Геометрические характеристики метрической резьбы.
5. Расчет предварительно затянутого болта под действием внешней нагрузки.
6. Расчет болта при внецентренной нагрузке.
7. Основы расчета групповых болтовых соединений.
8. Материалы резьбовых изделий, запасы прочности.
9. Классификация и особенности расчета различных видов сварных швов.

10. Прочность различных видов сварных соединений.
11. Конструкции и расчет заклепки.
12. Расчет металлоконструкции, ослабленной заклепками.
13. Типы шпонок и определение их работоспособности.
14. Шлицы прямозубые. Расчет и допускаемые напряжения в зависимости от степени подвижности соединения.
15. Шлицы эвольвентные. Особенности геометрии и расчета работоспособности.
16. Конструкции и оценка работоспособности клеммовых соединений.
17. Оценка работоспособности соединения с натягом.
18. Конструкции, параметры и расчет конусных соединений.
19. Виды профильных соединений, область их применения и оценка работоспособности.
20. Основные и производные характеристики зубчатых передач.
21. Основные количественные характеристики геометрии прямозубых эвольвентных цилиндрических передач.
22. Особенности геометрии косозубых цилиндрических передач.
23. Коэффициенты торцового и осевого перекрытия цилиндрических передач.
24. Основные параметры геометрии прямозубых конических передач.
25. Нормы точности зубчатых колес.
26. Область применения и конструктивные схемы планетарных передач.
27. Кинематика планетарных передач.
28. Условия собираемости планетарной передачи

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин: Учебник для вузов. 9-13-е изд. - М.: Высшая школа, 2005-2010.
2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. - М.: Академия, 2007, 2008. - 496 с.
3. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007.
4. Леликов О.П. Основы расчета и проектирования деталей и узлов машин: Конспект лекций по курсу «Детали машин». - М.: Машиностроение, 2004. - 440 с., 2007. - 463 с.

б) дополнительная литература

5. Мостаков В.А., Моисеенко Е.И., Рачек В.М. и др. Детали машин и основы конструирования: Учебное пособие по курсовому проектированию. - М.: МГГУ, 2006.
6. Дмитрак Ю.В., Мостаков В.А., Воронин Б.В. и др. Детали машин: Учебное пособие. - М.: МГГУ, 2011.
7. Ряховский О.А. Атлас конструкций узлов и деталей машин. 1-2-е изд. - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005 - 2009.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

8. Стандартное программное обеспечение Microsoft Office.
9. <http://tpmmsmu.narod.ru>, <http://tpm-msmu.narod.ru>,
<http://allmechanics.narod.ru>, <http://mexcaf.narod.ru>, <http://mehanixx.narod.ru>.
Учебно-методические материалы по деталям машин и основам конструирования. 2010.

10. <http://www.twirpx.com>. Раздел. Машиностроение. Механика. Подраздел. Детали машин. Учебники, учебные пособия, лекции, пособия по выполнению курсовых проектов, атласы конструкций, справочники, рефераты, презентации. Всего 1493 наименования.

11. <http://www.elibrary.ru>. Научная электронная библиотека (МГГУ). 2011.

г) периодические издания (научные журналы)

12. Горный информационно-аналитический бюллетень.

13. Известия высших учебных заведений. Машиностроение.

14. Известия высших учебных заведений. Горный журнал.

15. Горное оборудование и электромеханика.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Программа дисциплины Прикладная механика	
Раздел «Детали машин и основы конструирования».....	3
Введение.....	3
1. Общие принципы расчета и конструирования деталей машин.....	3
2. Соединения.....	3
3. Передачи	4
4. Детали механических передач.....	7
Контрольные работы.....	10
Контрольная работа №1.....	11
Контрольная работа №2.....	28
Контрольная работа №3.....	46
Контрольная работа №4.....	52
Письменные работы	58
Перечень вопросов для самостоятельной работы.....	58
Таблица номеров контрольных вопросов.....	62
Примерные вопросы при защите контрольных работ	64
Примерные экзаменационные вопросы	64
Рекомендуемая литература	66
Приложение 1.....	69
Приложение 2.....	71
Приложение 3.....	72
Приложение 4.....	75

Приложение 1.

Таблица 1.1. Упрощенные формулы для определения геометрических характеристик сечений с тонкими стенками

Тип сечения	Площадь сечения	Моменты инерции		Моменты сопротивления	
		Относите- льно осей x и y $I_x = I_y$	полярный I_p	Относи- тельно осей x и y $W_x = W_y$	полярный W_p
Круглое (рис. 1а)	$\pi \cdot D \cdot \delta$	$\frac{\pi \cdot \delta \cdot D^3}{8}$	$\frac{\pi \cdot \delta \cdot D^3}{4}$	$\frac{\pi \cdot \delta \cdot D^2}{4}$	$\frac{\pi \cdot \delta \cdot D^2}{2}$
Квадратное (рис. 1б)	$4 \cdot a \cdot \delta$	$\frac{2}{3} \delta \cdot a^3$	$\frac{4}{3} \delta \cdot a^3$	$\frac{4}{3} \delta \cdot a^2$	$\frac{8}{3} \delta \cdot a^2$ * $\frac{8}{3 \cdot \sqrt{2}} \delta \cdot a^2$ **

* - для определения напряжений в волокнах середин сторон квадрата

** - для определения напряжений в волокнах углов квадрата

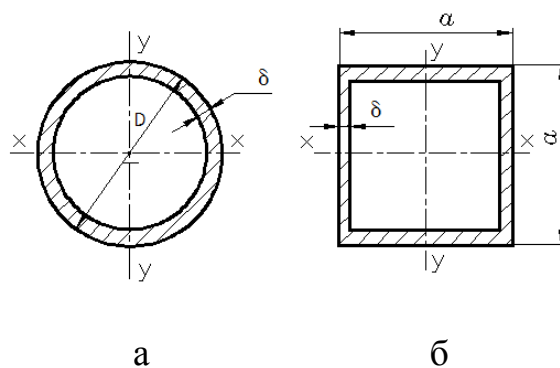


Рис. 1

Таблица 1.2. Допускаемые напряжения в сварных швах

	Допускаемые напряжения в сварных швах при	
	растяжении	срезе
<p>Ручная дуговая сварка электродами:</p> <p>Э42, Э50, Э65,...</p> <p>Э42А, Э50А, Э65А ...</p> <p>При соединении деталей из стали 3, допускаемом напряжении $[\sigma] = 140 \text{ МПа}$ с электродами:</p> <p>Э42</p> <p>Э42А</p>	<p>0,9 $[\sigma]$</p> <p>$[\sigma]$</p> <p>125</p> <p>140</p>	<p>$[\tau] = 0,6 [\sigma]$</p> <p>$[\tau] = 0,65 [\sigma]$</p> <p>80</p> <p>90</p>

Примечание: $[\sigma]$ - допускаемое напряжение на растяжение для материала соединяемых деталей.

Приложение 2.

Таблица 2.1. Основные размеры метрических резьб с крупным шагом и их геометрические характеристики

Наружный диаметр d, мм	Крупный шаг p, мм	Внутренний диаметр d ₁ , мм	Площадь поперечного сечения по внутреннему диаметру S, мм ²	Наружный диаметр опорного торца гайки D, мм	Размер ключа L, мм
12	1,75	10,106	80,2	18	175
16	2,00	13,835	150	22,5	220
20	2,50	17,294	235	28	260
24	3,00	20,752	338	33,5	310
30	3,50	26,211	540	43	380
36	4,00	31,670	787	51	460
42	4,50	37,129	1082	60,5	500
48	5,00	42,587	1424	70	580

Таблица 2.2. Классы прочности болтов и гаек по ГОСТ 1759.4-87

Класс прочности	Механические свойства		Сталь
	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	
3.6	300	180	углеродистая
4.6.	400	240	
4.8.	400	320	
5.6	500	300	
5.8	500	400	
6.6	600	360	
6.8	600	480	
8.8	800	640	углеродистая с добавками и термообработкой
9.8	900	720	
10.9	1000	900	легированная с термообработкой
12.9	1200	1080	

Приложение 3

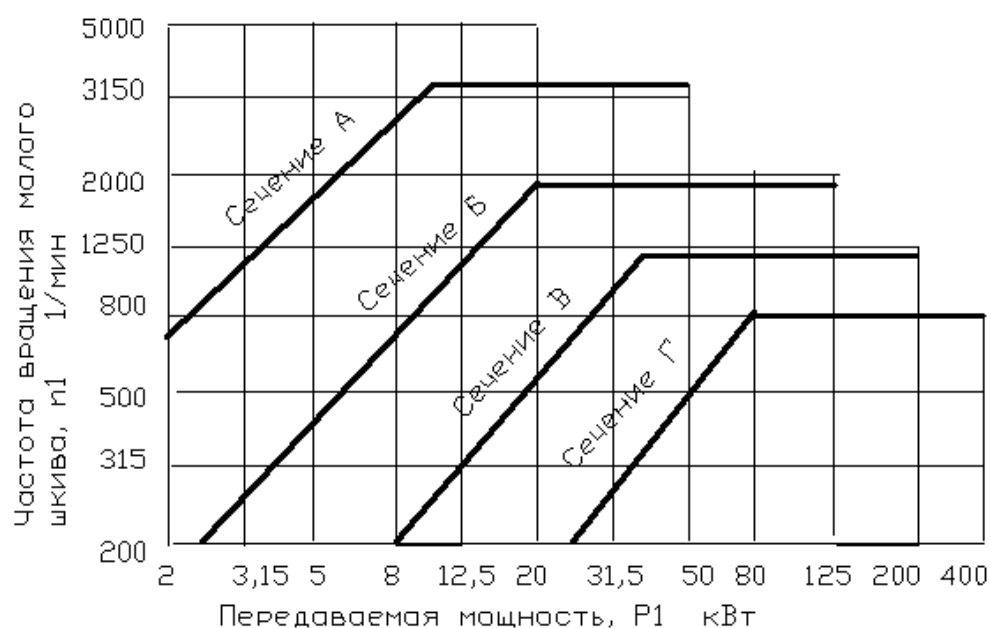


Рис. 3.1

Таблица 3.1. Основные размеры клиновых ремней

Обозначение ремня	Размеры ремня в сечении, мм				A, мм ²	L, мм		d _{min} , мм
						min	max	
О	8,5	10	6	2,1	47	47	2500	63
А	11	13	8	2,8	81	81	4000	90
Б	14	17	10,5	4,0	138	138	6300	125
В	19	22	13,5	4,8	230	230	10600	200
Г	27	32	19	6,9	476	476	15000	315
Д	32	38	23,5	8,3	692	692	18000	500
Е	42	50	30	1	1170	1170	1800	

b_0 - ширина ремня на нейтральном слое,
 $b(t)$ - ширина большего основания трапеции
 h - высота клинового ремня,
 A - площадь сечения,
 d_{min} - минимальный диаметр ведущего шкива

Таблица 3.2. Мощность, передаваемая одним клиновым ремнем

Сечение	Расчетный диаметр меньшего шкива d_{\min} , мм	Мощность P_0 , кВт при скорости v , м/с			
		3	5	10	15
А 1700	90	0,56	0,84	1,39	1,75
	100	0,62	0,95	1,60	2,07
	112	0,70	1,05	1,82	2,39
	125	0,74	1,15	2,00	2,66
	140	0,80	1,23	2,18	2,91
	160	0,85	1,32	2,35	3,20
	180	0,88	1,38	2,47	3,39
Б 2240	125	0,92	1,39	2,26	2,80
	140	1,07	1,61	2,70	3,45
	160	1,20	1,83	3,15	4,13
	180	1,30	2,01	3,51	4,66
	200	1,40	2,15	3,79	5,08
	224	1,47	2,26	4,05	5,45
	250	1,54	2,39	4,20	5,85
	280	1,57	2,50	4,50	6,15
В 3750	200	1,85	2,77	4,59	5,80
	224	2,08	3,15	5,35	6,95
	250	2,28	3,48	6,02	7,94
	280	2,46	3,78	6,63	8,86
	315	2,63	4,07	7,19	9,71
	355	2,76	4,32	7,70	10,5
	400	2,89	4,54	8,10	11,1
	450	3,00	4,70	8,50	11,7
Г 6000	355	4,46	6,74	11,4	14,8
	400	4,94	7,54	13,0	17,2
	450	5,36	8,24	14,4	19,3
	500	5,70	8,80	15,5	21,0
	560	5,90	9,24	16,6	22,5
	630	6,30	9,75	17,9	24,1
	710	6,56	10,3	18,5	25,3
	800	6,82	10,7	19,1	26,8

Таблица 3.3 Стандартный ряд длин клиновых ремней

L, мм	400, 450, 500, 560, 630, 710, 80, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300, 7100, 8000
-------	---

Таблица 3.4. Значения коэффициента C_a для клиновых ремней

α , град	180	170	160	150	140	130	120
C_a	1,0	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83

Таблица 3.5. Значения коэффициента C_z для клиновых ремней

Ожидаемое число ремней	2...3	4...5	6
C_z	0,95	0,90	0,85

Таблица 3.6. Значения коэффициента C_L для клиновых ремней

L/L_0	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
C_L	0,82	0,89	0,95	1,0	1,04	1,07

Приложение 4.

Таблица 4.1. Рекомендации по числу зубьев ведущей звездочки

i	1...2	2...3	3...4	4...5	5...6	Более 6
Z_1	30...27	27...25	25...23	23...21	21...17	17...15

Таблица 4.2. Рекомендации по выбору составляющих коэффициента эксплуатации

Условия работы	Значения коэффициентов
Нагрузка: равномерная переменная	$K_d = 1$ $K_d = 2$
Межосевое расстояние: рекомендуемое увеличенное уменьшенное	$K_a = 1$ $K_a = 0,6 \dots 0,8$ $K_a = 1,25$
Линия звездочек наклонена к горизонту под углом: $< 60^\circ$ $> 60^\circ$	$K_H = 1$ $K_H = 1,25$
Регулировка цепи осуществляется: одной из звездочек не регулируется	$K_{рег} = 1$ $K_{рег} = 1,25$
Работа: без пыли запыленная грязная, смазка периодическая	$K_c = 0,8$ $K_c = 1 \dots 1,25$ $K_c = 1,5$
Работа: односменная двухсменная	$K_{реж} = 1$ $K_{реж} = 1,25$

Таблица 4.3. Допускаемые значения расчетной мощности

Приводные роликовые однорядные цепи типа ПР по ГОСТ 13568-97	Шаг, мм	Диаметр валика, мм	Длина штулки, мм	[Pr], кВт, при частоте вращения малой звездочки n_{01} , 1/мин и $Z_{01}=25$						
				50	200	400	600	800	1000	1200
ПР-12,7- 9000-2	12,7	3,66	5,80	0,19	0,68	1,23	1,68	2,06	2,42	3,20
ПР-12,7- 18000-1	12,7	4,45	8,90	0,35	1,27	2,29	3,13	3,86	4,52	5,06
ПР-12,7- 18000-2	12,7	4,45	11,30	0,45	1,61	2,91	3,98	4,90	5,74	6,43
ПР-15,875- 23000-1	15,875	5,08	10,11	0,57	2,06	3,72	5,08	6,26	7,34	8,22
ПР-15,875- 23000-2	15,875	5,08	13,28	0,75	2,70	4,88	6,67	8,22	9,63	10,8
ПР-19,05- 32000	19,05	5,96	17,75	1,41	4,80	8,38	11,4	13,5	15,3	16,9
ПР-25,4- 56700	25,4	7,95	22,61	3,20	11,0	19,0	25,7	30,7	34,7	38,3
ПР-31,75- 88500	31,75	9,55	27,46	5,83	19,3	32,0	42,0	49,3	54,9	60,0
ПР-38,1- 127000	38,1	11,12	35,46	10,5	34,8	57,7	75,7	88,9	99,2	108
ПР-44,45- 172400	44,45	12,72	37,19	14,7	43,7	70,6	88,3	101		
ПР-50,8- 226800	50,8	14,29	45,21	22,9	68,1	110	138	157		

Примечание: В обозначении цепей кроме шага указана статическая нагрузка в H .

Таблица 4.4. Рекомендации по выбору шага цепи в зависимости от быстроходности

Частота вращения, 1/мин	1250	1000	900	800	630	500	400	300
Наибольший допустимый шаг цепи, мм	12,7	15,87	19,05	25,40	31,75	38,10	44,45	50,80

Таблица 4.5. Допускаемое давление в шарнирах цепи

Шаг цепи, мм	Допускаемое давление в шарнирах роликовых цепей $[p_0]$ МПа, при частоте вращения малой звездочки n_1 , 1/мин						
	50	200	400	600	800	1000	1200
12,7...15,875	35	31,5	28,5	26	24	22,5	21
19,05...25,4	35	30	26	23,5	21	19	17,5
31,75...38,1	35	29	24	21	18,5	16,5	15
44,45...50,8	35	26	21	17,5	15	-	-

Мостаков Валерий Александрович
Слободяник Татьяна Михайловна
Воронин Борис Васильевич
Вержанский Петр Михайлович

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА
Часть 2. Детали машин

*Программа, методические указания, задания на контрольные и
письменные работы для студентов-заочников специальности 130400.65;
специализаций: «Горные машины и оборудование»,
«Электрификация и энергоэффективность горных предприятий»*

Темплан 2014 г.

Редактор Машакина И.Н.
Технический редактор Граве Е.Ю.

Подписано в печать 14. Формат 60х90/16
Объем 5 печ. л. Тираж 100 экз. Заказ №

Национальный технологический университет МИСиС
Издательский дом МИСиС
119049, Москва, Ленинский пр., 4 (4956384522)
Отпечатано в типографии Издательского Дома МИСиС
119049, Москва, Ленинский пр., 4 (4992367617), тел./факс 4992367635