

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Донской государственный  
технический университет» в г. Шахты Ростовской области  
(ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты)

КОЛЛЕДЖ ЭКОНОМИКИ И СЕРВИСА

На правах рукописи

# **ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

**Методические указания**  
по выполнению практических работ  
для подготовки обучающихся специальности  
23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта  
очной и заочной форм обучения

Рассмотрены и рекомендованы для  
использования в учебном процессе на  
заседании педагогического совета  
Протокол № 1от «31» сентября 2018 г

Шахты  
ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты  
2019

### Составитель:

Преподаватель  
КЭС ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты \_\_\_\_\_ Е.Н. Дудниченко  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

### Рецензенты:

Преподаватель высшей категории  
КЭС ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты \_\_\_\_\_ Б.И. Шемет  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Индивидуальный предприниматель «А-Сервис» \_\_\_\_\_ А.Б.Салимов  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**Техническая механика:** метод. указания по выполнению практических работ для подгот. обучающ. спец. 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта оч. форм обучения / сост. Е.Н. Дудниченко, преп. КЭС : Шахты, 2019. – 35с.

Настоящие методические указания определяют цели и задачи, содержание практических работ, общие требования к оформлению практических работ.

Использование данных методических указаний позволит обучающимся качественно подготовиться по дисциплине «Техническая механика» и самостоятельно выполнить практические работы.

Предназначено для обучающихся специальности 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта.

Режим доступа к электронной копии печатного издания:  
<http://www.libdb.sssu.ru>

© ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Общие положения.....	5
Практическое занятие № 1	
Проекция силы на ось.....	6
Практическое занятие № 2	
Равнодействующая сила.....	10
Практическое занятие № 3	
Плоская система произвольно расположенных сил.....	14
Практическое занятие № 4	
Центр тяжести сложной плоской фигуры.....	16
Практическое занятие № 5	
Общие принципы расчетов на прочность.....	18
Практическое занятие № 6	
Испытание на растяжение образца из низкоуглеродистой стали.....	19
Практическое занятие № 7	
Кручение.....	22
Практическое занятие № 8	
Изгиб.....	25
Практическое занятие № 9	
Изучение конструкции и определение параметров зубчатых колес по их замерам.....	29
Практическое занятие № 10	
Зубчатая передача.....	31
Практическое занятие № 11	
Муфты.....	33
Библиографический список .....	35

## **ВВЕДЕНИЕ**

Практикум по дисциплине «Техническая механика» предназначен для обучающихся специальности 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта.

Целью практикума является закрепление теоретического материала, излагаемого в лекционном курсе. Он направлен на приобретение и развитие навыков самостоятельной работы по решению задач.

Практикум состоит из 11 практических работ и обеспечивает более глубокое изучение теоретического курса дисциплины. Позволяет приобрести практические навыки по вычислению проекций сил на ось, равнодействующей, определению центра тяжести, иметь представление о деформациях при кручении и изгибе.

Обучающиеся должны внимательно изучить основные методики расчета положения центра масс, взаимодействия элементов зубчатых передач и муфт. В процессе подготовки к выполнению практических работ обучающимся следует изучить основные сведения из теории с использованием рекомендуемой литературы. По итогам освоения материала, обучающиеся должны ответить на контрольные вопросы.

Письменный отчет оформляется согласно «Правилам оформления и требованиям, введённым в действие приказом ректора ДГТУ № 227 от 30.12.2015 года.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью выполнения практических занятий по дисциплине «Техническая механика» является формирование у студентов знаний по применению основных методик выполнения расчетов по определению проекций сил на ось, равнодействующей, определению центра тяжести.

Выполнение практических работ ориентировано на формирование общих и профессиональных компетенций в соответствии с программой подготовки специалистов среднего звена по специальности 23.02.03 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта»:

ОК-1: Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК-2: Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценить их эффективность и качество.

ОК-3: Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК-4: Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК-5: Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК-6: Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК-7: Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК-8: Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК-9: Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ПК-1.1: Организовывать и проводить работы по техническому обслуживанию и ремонту автотранспорта.

ПК-1.2: Осуществлять технический контроль при хранении, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств.

ПК-1.3: Разрабатывать технологические процессы ремонта узлов и деталей.

ПК-2.3: Организовывать безопасное ведение работ при техническом обслуживании и ремонте автотранспорта.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 ПРОЕКЦИЯ СИЛЫ НА ОСЬ

**Цель работы:** Усвоить понятие «Проекция силы на любую ось». Научиться определять знаки проекции силы на ось и ее величину графическим и аналитическим способами.

### Необходимое оборудование

1. Чертежный инструмент;
2. Калькулятор.

### Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал.
2. Выполнить чертеж, указанный в задании и записать данные своего варианта.
3. Разделив задание на четыре задачи, решить каждую по отдельности, соблюдая масштаб и угол наклона силы к оси.
4. Решить каждую задачу графическим и аналитическим методами.
5. Сделать выводы о выполненном задании и оформить отчет.

### Контрольные вопросы

1. Что называется проекцией силы на ось?
2. Перечислите методы определения проекций.
3. Какое правило применяется при определении знака проекции силы на ось?
4. Чему равна величина проекции силы, параллельной оси?
5. Чему равна величина силы, перпендикулярной оси?

### Теоретическая часть.

Проекция силы на ось равна произведению модуля силы на косинус острого угла между направлениями силы и оси.

$$F_x = F \cos \alpha$$

Если вектор силы согласован с направлением оси, проекция считается положительной (+), если не согласован - отрицательной (-), в соответствии с рисунком 1.

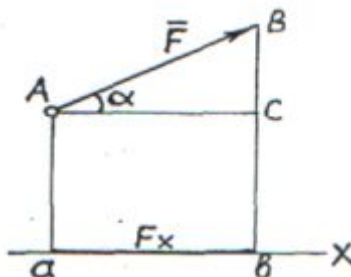


Рисунок 1 - Проекция сил

Сила, параллельная оси, проецируется на нее в натуральную величину, а на другую ось ее проекция равняется нулю.

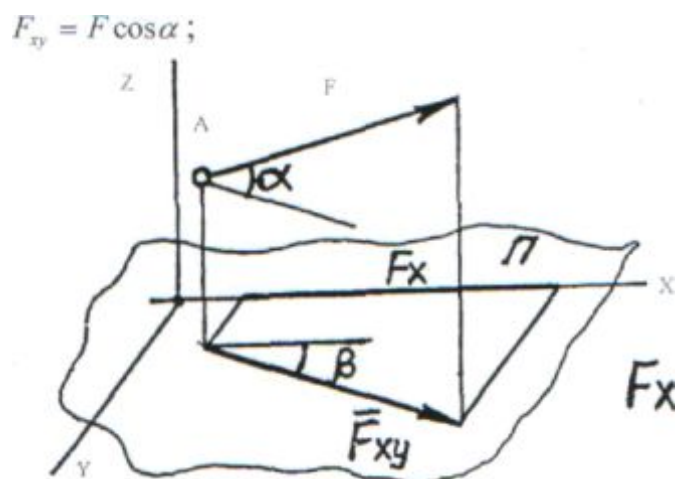


Рисунок 2 - Проекция параллельных сил

Проекция силы на плоскость является векторной величиной, в соответствии с рисунком 2.

### Пример выполнения задания

Задание.

Определить проекции заданных сил, изображенных на рисунке 3 на координатные оси графическим и аналитическим методами. Результаты сравнить.

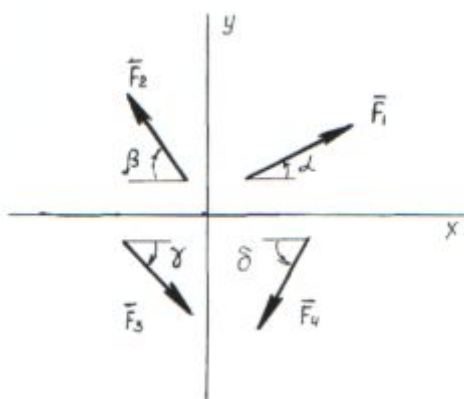


Рисунок 3- Проекция заданных сил

Дано:  $\alpha = 30^\circ;$   
 $F_1 = 4,5 \text{ кН};$   $\beta = 60^\circ;$   
 $F_2 = 3,0 \text{ кН};$   $\gamma = 0^\circ;$   
 $F_3 = 3,2 \text{ кН};$   $\delta = 90^\circ.$   
 $F_4 = 5,0 \text{ кН}.$

Решение.

Задача 1. Дано:  $F_1 = 4,5 \text{ кН};$   $\alpha = 30^\circ;$

1. Графический метод решения задачи.

Масштаб сил:  $\mu = 1 \text{ кН/см}.$

1.1 Сила  $F_1 = 4,5 \text{ кН}$  – изображается отрезком  $AB = 4,5 \text{ см}$  в соответствии с рисунком 4.

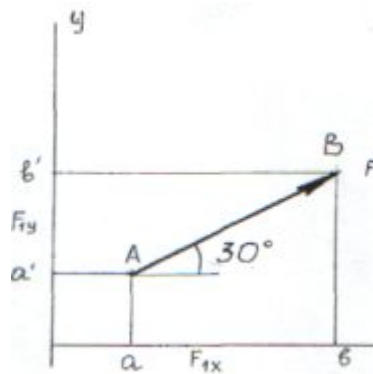


Рисунок 4 – Расчетная схема

1.2 Проекция силы  $F_1$  на ось  $x$  изображается отрезком  $ав$ , а на ось  $y$  - отрезком  $а'в'$ .

1.3 Измерив отрезки  $ав$  и  $а'в'$ , получим:

$$\begin{aligned} ав &= 3,9 \text{ см}; & F_{1x} &\rightarrow ав; \\ а'в' &= 2,25 \text{ см}; & F_{1y} &\rightarrow а'в'. \end{aligned}$$

2. Аналитический метод решения задачи.

2.1 Определяем проекции силы на оси  $x$  и  $y$ .

$$\begin{aligned} F_{1x} &= F_1 \cdot \cos 30^\circ \text{ или } F_{1x} = 4,5 \cdot 0,866 = 3,897 \text{ кН}; \\ F_{1y} &= F_1 \cdot \cos (90^\circ - \alpha) \text{ или } F_{1y} = F_1 \cdot \cos 60^\circ = 4,5 \cdot 0,5 = 2,25 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Задача 2.

Дано:  $F_2 = 3,0 \text{ кН}$ ;  $\beta = 60^\circ$ .

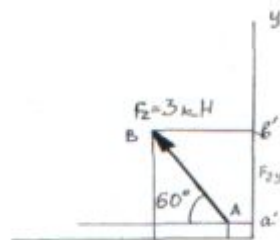


Рисунок 5 – Расчетная схема

1. Графический метод решения задачи.

Масштаб сил:  $\mu = 1 \text{ кН / см}$ .

1.1 Сила  $F_2 = 3 \text{ кН}$  – изображается отрезком  $АВ = 3 \text{ см}$  в соответствии с рисунком 5.

1.2 Проекция силы  $F_2$  на ось  $x$  изображается отрезком  $ав$ , а на ось  $y$  - отрезком  $а'в'$ .

1.3 Измерим отрезки и получим:

$$\begin{aligned} ав &= 1,5 \text{ см}; & F &\rightarrow ав; \\ а'в' &= 2,6 \text{ см}; & F &\rightarrow а'в'. \end{aligned}$$

Величина проекций:

$$F_{2x} = - ав \cdot \mu \text{ или } F_{2x} = - 1,5 \text{ см} \cdot 1 \text{ кН/см} = - 1,5 \text{ кН};$$



$$F_{2y} = a'v' \cdot \mu \text{ или } F_{2y} = 2,6 \text{ см} \cdot 1 \text{ кН/см} = 2,6 \text{ кН.}$$

## 2. Аналитический метод решения задачи

$$F_{2x} = -F_2 \cdot \cos 60^\circ \text{ или } F_{2x} = -3 \cdot 0,5 = -1,5 \text{ кН};$$

$$F_{2y} = F_2 \cdot \cos (90^\circ - \beta) \text{ или } F_{2y} = 3 \cdot 0,866 = 2,598 \text{ кН.}$$

### Задача 3.

Дано:  $F_3 = 3,2 \text{ кН}; \gamma = 0^\circ$

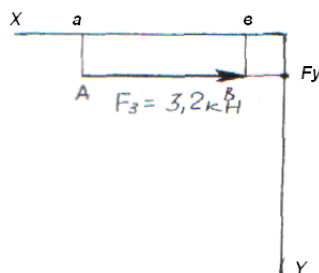


Рисунок 6 – Расчетная схема

#### 1. Графический метод решения задачи.

Масштаб:  $\mu = 1 \text{ кН/2см.}$

1.1 Сила  $F_3$  изображается отрезком АВ, в соответствии с рисунком 6

$$F_3 \rightarrow AB; AB = 3,2 \cdot 2 = 6,4 \text{ см};$$

$$F_3 \rightarrow AB = 6,4 \text{ см.}$$

1.2 Проекция силы  $F_3$  на ось  $x$  изображается отрезком  $av$ , а на ось  $y$  - точкой. Так как направление силы  $F_3$  совпадает с положительным направлением оси  $x$ , проекция  $F_{3x}$  будет иметь положительный знак.

1.3 Отрезок  $av$  параллелен оси  $x$ , т.к. угол  $\gamma = 0^\circ$ , поэтому  $av = 6,4 \text{ см}$

$$F_{3x} \rightarrow av;$$

$$F_{3x} \rightarrow av \cdot \mu \text{ или } F_{3x} = 6,4 \text{ см} \cdot 1 \text{ кН/2см} = 3,2 \text{ к}$$

Сила  $F_3$  перпендикулярна оси  $y$ , поэтому  $F_{3y} = 0$ .

#### 2. Аналитический метод решения задачи.

$$F_{3x} = F_3 \cdot \cos \gamma \text{ или } F_{3x} = F_3 \cdot \cos 0^\circ = 3,2 \cdot 1 = 3,2 \text{ кН};$$

$$F_{3y} = F_3 \cdot \cos (90 - \gamma) \text{ или } F_{3y} = F_3 \cdot \cos (90^\circ - 0^\circ) = F_3 \cdot \cos 90^\circ = F \cdot 0 = 0 \text{ кН.}$$

### Задача 4.

Дано:  $F_4 = 5 \text{ кН}; \delta = 90^\circ$ .

Масштаб сил:  $\mu = 1 \text{ кН / см.}$

#### 1. Графический метод решения задачи.

1.1 Сила  $F_4 = 5 \text{ кН}$  – изображается отрезком АВ, в соответствии с рисунком

7.

$$F_4 \rightarrow AB = 5 \text{ см.}$$

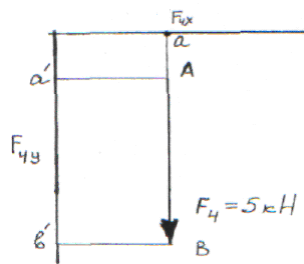


Рисунок 7 – Расчетная схема

1.2 Так как сила  $F_4$  перпендикулярна оси  $x$ , ее проекция на эту ось сводится к точке  $a$ , т.е.  $F_{4x} = 0$ . В то же время сила  $F_4$  параллельна оси  $y$ , но не совпадает с ее положительным направлением, поэтому  $F_{4y}$  изображается отрезком  $a'b' = AB$  и имеет отрицательный знак

$$F_{4y} \rightarrow a'b'$$

$$F_{4y} = - a'b' \cdot \mu \text{ или } F_{4y} = - 5\text{см} \cdot 1 \text{ кН} / \text{см} = - 5 \text{ кН.}$$

2. Аналитический метод решения задачи.

$$F_{4x} = F_4 \cdot \cos 90^\circ \text{ или } F_{4x} = 5 \cdot 0 = 0 \text{ кН;}$$

$$F_{4y} = F_4 \cdot \cos (90^\circ - \delta) \quad \text{или}$$

$$F_{4y} = F_4 \cdot \cos (90^\circ - 90^\circ) = - F_4 \cdot \cos 0^\circ = - 5 \cdot 1 = - 5 \text{ кН.}$$

Вывод. Определены проекции заданных сил графическим и аналитическим методами.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2 РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА

**Цель работы:** Выработать умения определять равнодействующую силу графическим и аналитическим методами.

### Необходимое оборудование

1. Чертежный инструмент;
2. Калькулятор.

### Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал.
2. Принять масштаб сил.
3. Выбрать точку  $A$  - начало построения.
4. Соблюдая масштаб, угол наклона и направление сил в любом порядке откладывать векторы для построения многоугольника. Получается незамкнутый многоугольник.
5. Для определения величины и направления равнодействующей нужно соединить точки начала и конца построения.

6. Измерить замыкающий отрезок и, умножив его на масштаб, определить величину равнодействующей.
7. Транспортиром измерить угол между осью  $x$  и направлением силы.
8. Для решения аналитическим методом определить величину и знак проекции каждой силы.
9. Сделать выводы о выполненном задании и оформить отчет.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите методы определения равнодействующей. Какие из них относятся к геометрическому сложению?
2. Сформулируйте правила параллелограмма и силового многоугольника.
3. Как строится равнодействующая трех и более сил?
4. Чему равна проекция равнодействующей на ось?
5. Как определить модуль и направление равнодействующей методом проекций?

### Теоретическая часть

Совокупность сил, действующих на тело, называется системой сил.

Сила, эквивалентная данной системе сил, называется равнодействующей этой системы.

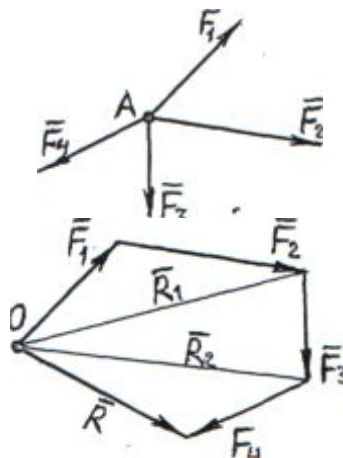


Рисунок 1 – Многоугольник сил

Равнодействующую системы сходящихся сил строим на основании правила силового треугольника

$$R_1 = F_1 + F_2 ; R_2 = R_1 + F_3 = F_1 + F_2 + F_3 ; R = R_2 + F_4 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4.$$

Равнодействующая системы сходящихся сил изображается замыкающей стороной силового многоугольника и направлена от начала первого вектора к концу последнего в соответствии с рисунком 1.

Если многоугольник получается замкнутым, то  $R = 0$ , а система сил находится в равновесии. Многоугольник может быть плоским и пространственным.

#### Метод проекций

Равнодействующая системы сходящихся сил может быть определена

аналитическим способом через проекции, составляющих сил.

Заданы сходящиеся силы  $F_1, F_2, F_3$ . Геометрическая сумма или равнодействующая этих сил  $R$  определяется замыкающей стороной силового многоугольника в соответствии с рисунком 2.

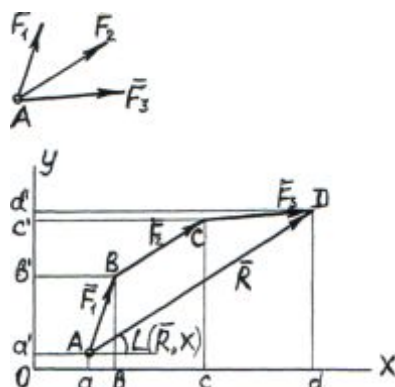


Рисунок 2 - Многоугольник сил

Спроецируем вершины силового многоугольника на оси координат. Получим

$$F_{1x} = av; F_{2x} = bc; F_{3x} = cd;$$

$$F_{1y} = a'b'; F_{2y} = b'c'; F_{3y} = c'd'.$$

Так как  $ad = R_x$  и  $a'd' = R_y$ , то

$$ad = av + bc + cd \text{ или } R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = \sum F_{ix}$$

$$a'd' = a'b' + b'c' + c'd' \text{ или } R_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = \sum F_{iy}$$

Проекция равнодействующей (векторной суммы) на ось равна алгебраической сумме проекции слагаемых векторов на ту же ось.

Модуль равнодействующей через ее проекции определяется по формуле  $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ .

Направление равнодействующей определяется по направляющим косинусам углов, которые она образует с осями координат.

$$\cos L(R, x) = R_x / R; \cos L(R, y) = R_y / R.$$

### Пример выполнения задания

#### Задача 1.

Определить величину и направление равнодействующей силы графическим и

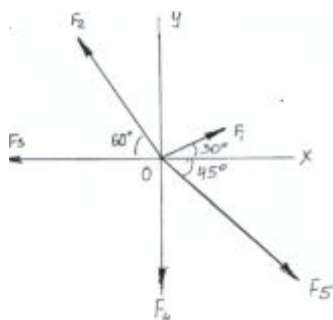


Рисунок 3 – Схема сил

аналитическим методами. Результаты сравнить.

Дано:

1. Система сил, приложенных в точке O.

2. Модули сил и углы с осью x

$$F_1 = 2 \text{ кН}; \quad \alpha_1 = 30^\circ;$$

$$F_2 = 4,5 \text{ кН}; \quad \alpha_2 = 60^\circ;$$

$$F_3 = 6 \text{ кН}; \quad \alpha_3 = 0^\circ;$$

$$F_4 = 4 \text{ кН}; \quad \alpha_4 = 90^\circ;$$

$$F_5 = 5,5 \text{ кН}; \quad \alpha_5 = 45^\circ.$$

Решение.

## 1. Графический метод решения.

### 1.1 Примем масштаб сил:

$$\mu = 1 \text{ кН / см.}$$

1.2 В плоскости действия системы сил выберем точку начало построения. Для построения силового многоугольника, соблюдая масштаб, отложим отрезок  $AB = 6 \text{ см}$ , соответствующий силе  $F_3 = 6 \text{ кН}$ . Конец вектора силы  $F_3$  совмещаем с началом вектора силы  $F_4$ , модуль которой  $F_4 = 4 \text{ кН}$ . Длина отрезка  $BC = 4 \text{ см}$ . В любом порядке откладываем остальные силы. Получаем незамкнутый многоугольник  $ABCDEK$  в соответствии с рисунком 4. Чтобы получить равнодействующую нужно соединить точки  $A$  и  $K$ . Получаем замкнутый многоугольник, у которого сторона  $AK$  является равнодействующей. Измерим отрезок  $AK$  и получим величину равнодействующей силы  $AK = 3,9 \text{ см}$ .  $R \rightarrow AK$ ;

$$R = AK \cdot \mu \text{ или } R = 3,9 \text{ см} \cdot 1 \text{ кН / см} = 3,9 \text{ кН.}$$

Измерив угол транспортиром, имеем  $\alpha_R = 40^\circ$ .

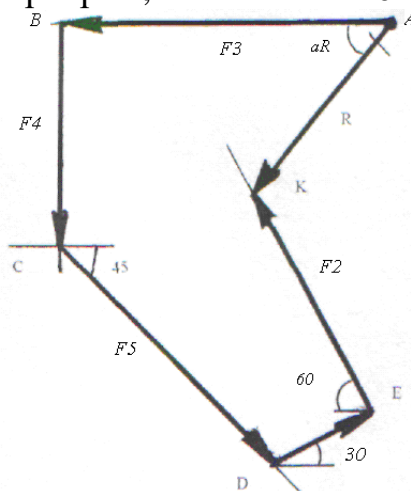


Рисунок 4 – Плоскость действия сил

## 2 Аналитический метод решения.

### 2.1 Проекция равнодействующей на ось x

$$R_x = \sum F_{ix} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} + F_{5x} = F_1 \cdot \cos 30^\circ - F_2 \cdot \cos 60^\circ - F_3 \cdot \cos 0^\circ - F_4 \cdot \cos 90^\circ + F_5 \cdot \cos 45^\circ;$$

$$R_x = 2 \cdot 0,866 - 4,5 \cdot 0,5 - 6 \cdot 1 - 0 + 5,5 \cdot 0,707 = - 2,63 \text{ кН.}$$

### 2.2 Проекция равнодействующей на ось y

$$R_{2y} + \sum F_{iy} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} + F_{5y} = F_1 \cdot \cos (90^\circ - \alpha_1) + F_2 \cdot \cos (90^\circ - \alpha_2) - F_3 \cdot \cos (90^\circ - \alpha_3) - F_4 \cdot \cos (90^\circ - \alpha_4) - F_5 \cdot \cos (90^\circ - \alpha) = F_1 \cdot \cos 60^\circ + F_2 \cdot \cos 30^\circ - F_3 \cdot \cos 90^\circ - F_4 \cdot \cos 0^\circ - F_5 \cdot \cos 45^\circ;$$

$$R_y = 2 \cdot 0,5 + 4,5 \cdot 0,866 - 0 - 4 \cdot 1 - 5,5 \cdot 0,707 = - 3 \text{ кН.}$$

### 2.3 Модуль равнодействующей силы

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad \text{или} \quad R = \sqrt{(-2,63)^2 + (-3)^2} = 3,98 \text{ кН.}$$

Направляющие косинусы

$$\cos L (R,x) = R_x / R \quad \text{или} \quad \cos L (R,x) = 2,63 / 3,98 = 0,66;$$

$$\cos L (R,y) = R_y / R \quad \text{или} \quad \cos L (R,y) = 3,0 / 3,98 = 0,753;$$

$$\text{Согласно } \cos L (R,x) = 0,66, \text{ значит } L (R,x) = 41^\circ$$

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3**

### **ПЛОСКАЯ СИСТЕМА ПРОИЗВОЛЬНОРАСПОЛОЖЕННЫХ СИЛ**

**Цель работы:** Научиться определять опорные реакции жесткой заделки (защемления) консольной балки.

#### **Необходимое оборудование**

1. Чертежный инструмент.
2. Калькулятор.

#### **Порядок проведения работы**

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть пример выполнения задания.
3. Выбирается объект равновесия.
4. Прикладываются заданные силы.
5. Отбрасываются связи, и их действие заменяется реакциями связей.
6. Выбирается направление координатных осей, и составляются уравнения равновесия.
7. Решая уравнения, определяют неизвестные величины.
8. Сделать выводы о выполненном задании и оформить отчет.

#### **Контрольные вопросы**

1. Что такое момент силы относительно точки?
2. Как определяется знак момента силы относительно точки?
3. Что называется плечом силы?
4. В каком случае момент силы относительно точки равен нулю?
5. Будет ли изменяться момент силы относительно заданной точки, если, не меняя направления, переносить силу вдоль линии ее действия?
6. Что такое главный вектор и главный момент плоской системы сил?
7. В каком случае главный вектор плоской системы сил является ее равнодействующей?
8. Как аналитически найти главный вектор и главный момент плоской системы сил?

9. Что можно определить с помощью теоремы Вариньона?
10. Укажите три вида уравнений равновесия плоской системы произвольно расположенных сил.
11. Укажите, как рационально выбрать направления осей координат и центр моментов.
12. Какие уравнения можно составить для уравновешенной произвольной плоской системы сил?
13. Какие виды нагрузок вы знаете?
14. Какие нагрузки называются сосредоточенными и распределенными?
15. Какие виды опор балок вы знаете?

### Пример выполнения задания

#### Задача 1.

Определить опорные реакции жесткой заделки (защемления) консольной балки, показанной на рисунке 1.

- Дано:
- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 1. $M = 25$ кН;   | 4. $l_1 = 3$ м; |
| 2. $F_1 = 20$ кН; | 5. $l_2 = 2$ м; |
| 3. $F_2 = 15$ кН; | 6. $l_3 = 2$ м; |

7. Угол между вектором силы  $F_2$  и балкой:  $\alpha = 45^\circ$ .

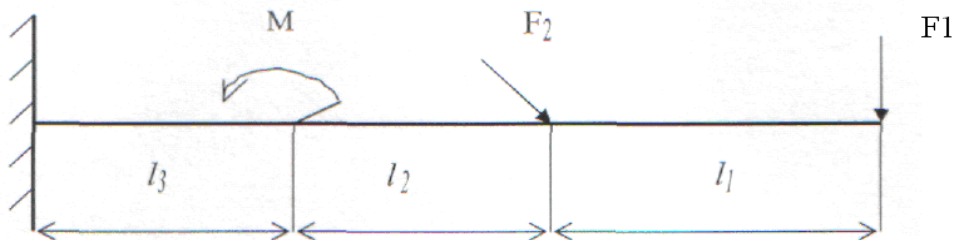


Рисунок 1 – Схема сил

#### Решение.

1. Рассматриваем равновесие балки.
2. Прикладываем к ней активные силы:  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M$ .
3. Далее освобождаем балку от связей, т.е. отбрасываем заделку и заменяем ее действие реакциями. В данном случае для экономии места заделку не отбрасываем, а показываемее реакции на том же исходном чертеже в соответствии с рисунком 2.

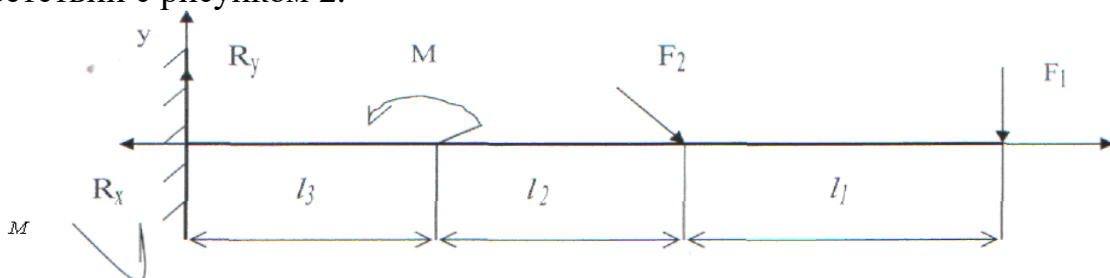


Рисунок 2 - Схема сил

В заделке возникает реактивный момент  $M_R$  и две составляющие реакции  $R_x$  и  $R_y$ . Выбираем координатные оси и составляем уравнения равновесия.

$$\begin{aligned} \sum F_{ix} = 0; & \quad \text{Тогда: } F_{2x} - R_x = 0 \text{ или } F_2 \cdot \cos \alpha - R_x = 0; \\ \sum F_{iy} = 0; & \quad \text{Тогда: } R_y - F_{2y} - F_1 = 0 \text{ или } R_y - F_2 \cdot \sin \alpha - F_1 = 0; \\ \sum m_{Ai} = 0; & \quad \text{Тогда: } -M_R + F_2 \cdot \sin \alpha \cdot (l_3 + l_2) + F_1 \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - M = 0. \end{aligned}$$

Решая уравнения, определяем

$$\begin{aligned} R_x &= F_2 \cdot \cos \alpha = 15 \text{ кН} \cdot \cos 45^\circ = 15 \text{ кН} \cdot 0,707 = 10,6 \text{ кН}; \\ R_y &= F_1 + F_2 \cdot \sin \alpha = 20 \text{ кН} + 15 \text{ кН} \cdot \sin 45^\circ = 20 \text{ кН} + 15 \text{ кН} \cdot 0,707 = 20 \text{ кН} + \\ & \quad 10,6 \text{ кН} = 30,6 \text{ кН}; \\ M_R &= F_2 \cdot \sin \alpha \cdot (l_3 + l_2) + F_1 \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - M = 15 \text{ кН} \cdot \sin 45^\circ \cdot (2\text{м} + 2\text{м}) + 20 \\ & \text{кН} \cdot (3\text{м} + 2\text{м} + 2\text{м}) - 25 \text{ кН} = 15 \text{ кН} \cdot 0,707 \cdot (2\text{м} + 2\text{м}) + 20 \text{ кН} \cdot (3\text{м} + 2\text{м} + 2\text{м}) - 25 \\ & \text{кН} = 10,6 \text{ кН} \cdot 4\text{м} + 20 \text{ кН} \cdot 7\text{м} = 42,4 \text{ кН} \cdot \text{м} + 140 \text{ кН} \cdot \text{м} - 25 \text{ кН} = 157,4 \text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Составляем уравнение для проверки.

$$\sum M_{Bi} = 0; \quad \text{Тогда: } -M_R - M + F_1 l_1 + R_y \cdot (l_3 + l_2) = 0.$$

Подставляем значения моментов и сил и получаем

$$- 157,4 \text{ кН} \cdot \text{м} - 25 \text{ кН} \cdot \text{м} + 20 \text{ кН} \cdot 3 \text{ м} + 30,6 \text{ кН} \cdot (2\text{м} + 2\text{м}) = - 157,4 \text{ кН} \cdot \text{м} - 25 \text{ кН} \cdot \text{м} + 60 \text{ кН} \cdot \text{м} + 122,4 \text{ кН} \cdot \text{м} = 0.$$

Числовой пример следует решать с точностью два знака после запятой. Если у реакции получается отрицательное значение, это значит, что реакцию следовало направить в противоположную сторону.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4 ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ СЛОЖНОЙ ПЛОСКОЙ ФИГУРУ

**Цель работы:** Определить центр тяжести сложной фигуры аналитическим и опытным путем.

### Необходимое оборудование

1. Сложная фигура (плоская);
2. Линейка.

### Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал.
2. Подвесить сложную плоскую фигуру сначала в одном, затем в другом месте с отвесом и отметить следы нити и провести через отверстие и след две линии до их пересечения.



3. Определить изменением координаты центра тяжести  $X_c$  и  $Y_c$  и результаты поместить в отчет.
4. Измерить и вычертить сложное сечение в масштабе 1:1; 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10, результаты поместить в отчет.
5. Разбить сложную фигуру на простые, указать части фигур, показать их центры тяжести.
6. Выбрать оси координат  $X$  и  $Y$  и произвести подсчеты.
7. Сделать выводы о выполненной работе и оформить отчет.

### Контрольные вопросы

1. Можно ли рассматривать силу тяжести тела, как равнодействующую системы параллельных сил?
2. Может ли располагаться центр тяжести вне самого тела?
3. Как учитывается отверстие (вырез, пустота) в формуле для определения координат центра тяжести сложной фигуры.
4. Как опытным путем определяется центр тяжести сложной фигуры?
5. Как определяется аналитическим способом центр тяжести сложной фигуры?
6. На пересечении каких линий треугольника находится его центр тяжести?
7. Каким другим способом (кроме рассмотренных) можно опытным путем найти центр тяжести сложного тела.

### Теоретическая часть

Материальные тела состоят из элементарных частиц, положение которых в пространстве определяется их координатами. Силы притяжения каждой частицы к земле можно считать системой параллельных сил, равнодействующая этих сил называется силой тяжести тела или весом тела.

Центр тяжести - это геометрическая точка, которая может быть расположена и вне тела, например, диск с отверстием, полый шар и т.д. Большое практическое значение имеет определение центра тяжести тонких плоских однородных пластин. Их толщиной можно пренебречь и считать, что центр тяжести расположен в плоскости. Если координатную плоскость  $XOY$  совместить с плоскостью фигуры, то положение центра тяжести определяется двумя координатами.

$$X_c = \sum A_i \cdot x_i / \sum A_i = (A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + \dots + A_n \cdot x_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \quad (1)$$

$$Y_c = \sum A_i \cdot y_i / \sum A_i = (A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + \dots + A_n \cdot y_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \quad (2)$$

где  $A_i$  - площадь частей фигур, мм (см. рис. 1);

$X_c, Y_c$  - координаты центра тяжести частей фигуры, мм (см. рис. 1).

Вырез (пустота, отверстие) считается частью фигуры и в формулы (1) и (2)  $A_i$ , для неё подставляется со знаком " минус ".

### Пример выполнения задания

1. Координаты центра тяжести заданной фигуры, найденные опытным путем (подвешиванием).

$X_C = 31$  мм,  $Y_C = 97$  мм.

2. Чертеж 1 фигуры выполнен в масштабе М 1:2.

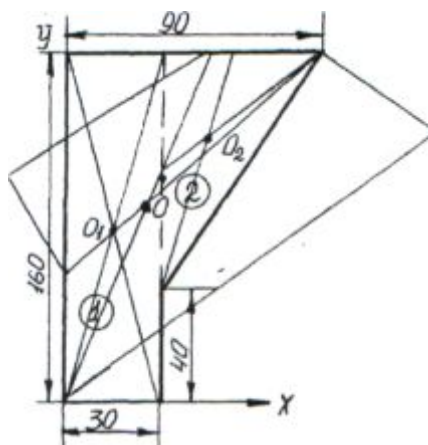


Рисунок 1- Схема сил

### 3. Вычисления

$$A_1 = 30 \cdot 160 = 4800 \text{ мм}^2;$$

$$A_2 = 0,5 \cdot 60 \cdot 120 = 3600 \text{ мм}^2;$$

$$X_1 = 30/2 = 15 \text{ мм};$$

$$Y_1 = 160/2 = 80 \text{ мм};$$

$$X_2 = 30 + (90 - 30) / 3 = 50 \text{ мм};$$

$$Y_2 = 160 - (160 - 40) / 3 = 120 \text{ мм};$$

$$X_C = (4800 \cdot 15 + 3600 \cdot 50) / 8400 = 30 \text{ мм};$$

$$Y_C = (4800 \cdot 80 + 3600 \cdot 120) / 8400 = 97,2 \text{ мм}.$$

Результаты вычислений заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – результаты расчетов

Вид простой фигуры	Размеры простой фигуры		Площадь простой фигуры, А, мм <sup>2</sup>	Координаты центра тяжести простой фигуры		Координаты центра тяжести слож заданной фигур	
	в, мм	h, мм		x <sub>i</sub> , мм	y <sub>i</sub> , мм	x <sub>c</sub> , мм	y <sub>c</sub> , мм
1 Прямоугольник	30	160	4800	15	80		
2 Треугольник	60	120	3600	50	120		
			ΣА=8400			30	97,2

Вывод: Результаты практического и аналитического способов совпадают, результат аналитического способа определяется точнее, чем опытного.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ

**Цель работы:** изучить общие принципы расчетов.

## Необходимое оборудование

1. Учебный раздаточный материал, лекции.

## Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал.
2. Описать порядок расчета.
3. Дать определение: проектный и проверочный расчет.

## Контрольные вопросы

1. Что называется надёжностью?
2. Что называется прочностной надёжностью?
3. Как называется метод расчёта на прочность?
4. Определение величины допускаемого напряжения  $[\sigma]$  по формуле.
5. Формула условия прочности.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6 ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ ОБРАЗЦА ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

**Цель работы:** Изучить поведение материала при растяжении до состояния разрушения; установить зависимость между силой, растягивающей образец, и его удлинением, определить основные механические характеристики материала образца.

## Необходимое оборудование

1. Образец для испытания;
2. Штангенциркуль.

## Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал.
2. Измерить диаметр образца и расчётную длину  $l_0$ , отмеченную на образце рисками в соответствии с рисунком 1.

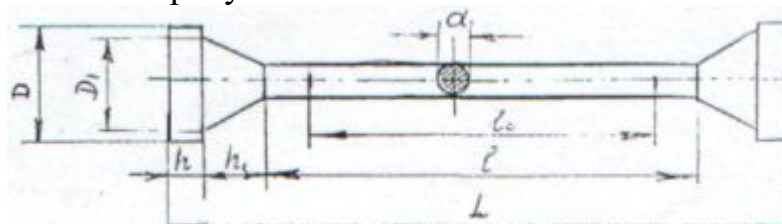


Рисунок 1- Общий вид образца

3. Обработать результаты испытания:  
- обе части разрушенного образца сложить вместе;

-замерить расстояние между рисками 1 и диаметр образца в месте разрыва. Так как в месте разрыва поперечное сечение может иметь неправильную форму, то следует произвести измерение диаметра по двум взаимно перпендикулярным направлениям и по среднему арифметическому из этих измерений  
 - определить площадь поперечного сечения 1 в месте разрыва.  
 Образец после испытания имеет вид в соответствии с рисунком 2.



Рисунок 2 - Образец после испытаний

4. Определить длину расчётного участка после разрыва, площадь поперечного сечения образца в месте разрыва  $l$ , построить схему диаграммы, предварительно выбрав масштаб диаграммы для удлинения и нагрузки.

5. Произвести обработку диаграммы растяжения. Для этого вычислить масштаб диаграммы, соответствующую нагрузке  $P_{пч}$  и сравнить ее с показаниями круговой шкалы машины.

6. Определить по диаграмме, зная масштаб, величину нагрузки:

$P_T$  - нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н;

$P_{пч}$  - нагрузка, соответствующая пределу прочности, Н.

Результаты испытания записать в таблицу.

Таблица 1 – Результаты испытаний

Определяемая величина	Формула для определения искомой величины	Результаты вычисления
1 Предел текучести	$G_m =$	$G_m = , \text{Н/мм}$
2 Предел прочности	$G_{пч} =$	$G_{пч} = , \text{Н/мм}$
3 Относительное остаточное удлинение	$\delta =$	$\delta = , \%$
4 Относительное остаточное сужение	$\psi =$	$\psi = , \%$

13. Сделать выводы о выполненной работе и оформить отчет.

### Контрольные вопросы

1. Что называется пределом текучести и пределом прочности?
2. Какие механические свойства материала можно определить по диаграмме растяжения?
3. Какой применяется образец?
4. Для какого участка диаграммы растяжения справедлив закон Гука?
5. Как изменяются свойства материала, если он подвергается предварительной вытяжке за предел прочности?
6. По какой величине относительного остаточного удлинения определяют условный предел текучести?
7. На какую площадь поперечного сечения образца нужно делить максимальную нагрузку, которую выдержал образец до разрушения при

определении предела прочности?

### Теоретическая часть

Испытание на растяжение является наиболее распространённым видом испытания материалов, так как с его помощью выявляются характеристики прочности и пластичности материалов. При определении качества материала, выпускаемого промышленностью, испытание на растяжение является основным видом испытаний.

При статических испытаниях на растяжение определяют следующие основные механические характеристики:

- предел пропорциональности  $G_{пц}$  - наибольшее напряжение, для которого справедлив закон Гука;

- предел упругости  $G_y$  - наибольшее напряжение, при котором в образце не возникает остаточных напряжений;

- предел текучести  $G_T$  - напряжение, при котором происходит рост пластических деформаций без заметного увеличения нагрузок;

- предел прочности  $G_{пч}$  (временное сопротивление) - наиболее условное напряжение, которое определяется делением максимальной нагрузки, выдержанной образцом до разрушения, на первоначальную площадь его поперечного сечения;

- относительное статичное удлинение при разрыве  $\delta$  - величина, характеризующая пластичность материала. Она определяется отношением остаточного удлинения образца к его первоначальной длине.

- относительное остаточное сужение  $\psi$  - величина, также характеризующая пластичность материала. Она определяется отношением изменения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к первоначальной площади поперечного сечения образца. Результаты испытания наглядно представлены диаграммой, показанной на рисунке 3.

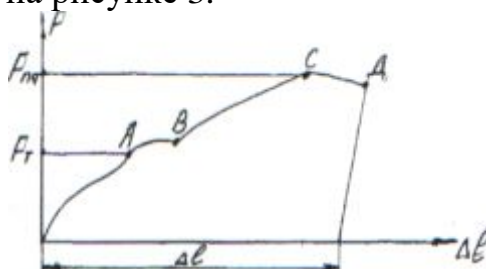


Рисунок 3 - Диаграмма растяжения

Диаграмма растяжения дает возможность определить пределы текучести, прочности и относительное удлинение. Эти характеристики имеют большое значение как при выборе материала для элементов конструкции, так и при расчете их на прочность. При испытании на растяжение можно также выявить влияние наклепа на изменение механических свойств материала. Предел пропорциональности и упругости по диаграмме растяжения не определяют, так как для этого требуются более точные измерения. Результаты испытаний на растяжение зависят не только от свойств материала, но и от размеров испытываемых образцов, а также от условий их нагружения.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7 КРУЧЕНИЕ

**Цель работы:** Определить величину крутящего момента и построить эпюру. Определить диаметры вала сплошного и кольцевого сечения из условия прочности. Определить диаметры вала сплошного и кольцевого сечений из условия жесткости.

### Необходимое оборудование

1. Чертежный инструмент;
2. Калькулятор.

### Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал.
2. Изучить теоретические рекомендации по выполнению задания.
3. Выполнить задание.
4. Сделать выводы о выполненном практическом задании № 6 и оформить отчет.

### Контрольные вопросы

1. Что такое сдвиг?
2. Какой величиной характеризуется деформация сдвига?
3. Какая зависимость существует между передаваемой валом мощностью, вращающим моментом и угловой скоростью?
4. Как определяется крутящий момент в продольном сечении?
5. Каков закон распределения касательных напряжений по площади поперечного сечения при кручении?
6. Какая разница между крутящим и вращающим моментами?
7. Что является геометрическими характеристиками сечения вала при кручении?
8. Какая существует зависимость между величинами  $E$ ,  $G$  и  $\mu$ , характеризующими упругие свойства материалов?
9. По какой формуле определяется деформация при кручении?
10. Что такое полярный момент инерции сечения бруса?
11. Что такое полярный момент сопротивления? Как он определяется для кольца.

### Теоретическая часть

Рассмотрим построение эпюры крутящих моментов для вала, на котором закреплено несколько шкивов в соответствии с рисунком 1: шкив I получает вращение от двигателя, шкивы II, III и IV передают его станкам. Моменты, передаваемые каждым шкивом на вал, вычисляются по формуле

$$M_{вр} = 9,55 \cdot P / n.$$

Направление момента  $M_1$  противоположно направлению моментов  $M_2$ ,  $M_3$  и  $M_4$ . При установившемся движении, пренебрегая трением в подшипниках, получаем из условия равновесия вала

$$\sum M_{iz} = 0 - M_2 + M_1 - M_3 - M_4 = 0.$$

Крутящий момент изменяется в сечениях вала, передающих внешние моменты от шкивов. Разделим вал на три участка в соответствии с рисунком 1 и определим крутящие моменты в поперечных сечениях каждого из них. Крутящий момент в любом поперечном сечении первого участка между шкивами I и II уравнивает момент внешней пары  $M_2$ , действующий на левую отсеченную часть, т. е.:

$$M_{K1} = M_2.$$

При рассмотрении правой части из условия ее равновесия мы получили бы, естественно, тот же результат

$$M_{K1} = M_1 - M_3 - M_4 = M_2,$$

Аналогично вычисляется крутящий момент в поперечных сечениях на втором участке вала между шкивами I и III

$$M_{K2} = M_2 - M_1 = -M_3 - M_4,$$

А на третьем участке между шкивами III и IV

$$M_{K3} = M_2 - M_1 + M_3 = -M_4.$$

Итак, крутящий момент в каком-либо поперечном сечении вала численно равен алгебраической сумме моментов внешних пар, действующих на вал в плоскостях, перпендикулярных оси вала, и приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения. Эпюру крутящих моментов строят аналогично эпюре продольных сил, откладывая от горизонтали в соответствии с рисунком 1 ординаты, пропорциональные крутящим моментам в поперечных сечениях соответствующих участков вала.

Знак крутящего момента в поперечном сечении вала определяется исходя из направления внешних моментов. Крутящий момент положителен, когда внешние моменты вращают отсеченную часть по часовой стрелке, если смотреть со стороны проведенного сечения.

Положительные ординаты эпюры крутящих моментов откладывают вверх, отрицательные - вниз от горизонтальной линии, называемой осью, или базой эпюры.

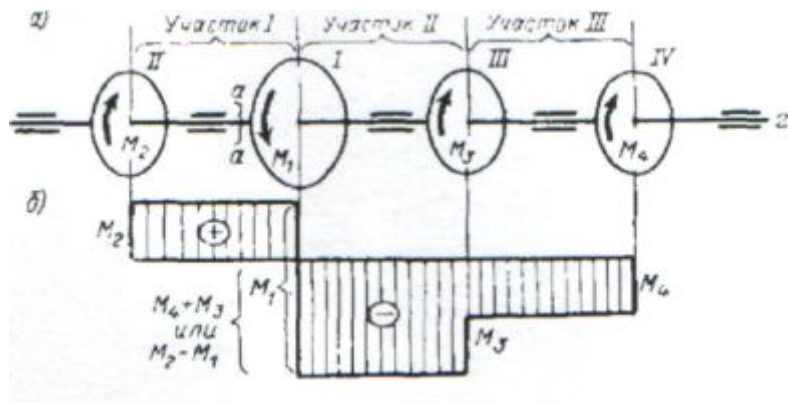


Рисунок 1 - Эпюра моментов и сил нагружения

Для того чтобы определить диаметры вала сплошного и кольцевого сечений из условия прочности необходимо определить полярный момент сопротивления сечения  $W_p = M_k / [\tau_k]$

Определяем диаметр вала сплошного сечения.

$$d = \sqrt[3]{W_p / 0,2}.$$



Рисунок 2 – Сечение вала

Определяем диаметр вала кольцевого сечения

$$W_p = [\pi d_n^3 / 16] \cdot (1 - c^4),$$

$$d_n = \sqrt[3]{16W_p / [\pi(1 - c^4)]},$$

$$c = d_{вн} / d_n.$$



Рисунок 3- Сечение вала и внутренней полости

Для того, чтобы определить диаметры вала сплошного и кольцевого сечения из условия жесткости необходимо определить полярный момент инерции.

$$I_p = M_k / (G[\varphi_0]).$$

Определяем диаметр вала сплошного сечения.



Рисунок 4 – Сплошное сечение вала



$$I_p = 0,1 \cdot d_H^4$$

$$d_H = \sqrt[4]{I_p / 0,1}.$$

Определяем диаметр вала кольцевого сечения

$$I_p = 0,1 \cdot d_H^4 (1 - c^4),$$

$$d_H = \sqrt[4]{I_p / [0,1 (1 - c^4)]}$$



Рисунок 5 – Кольцевое сечение вала

Вывод: вал кольцевого сечения легче вала сплошного сечения в 2 раза.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8 ИЗГИБ

**Цель работы:** Определить реакции двухопорной балки. Определить величину поперечных сил и изгибающих моментов и построить их эпюры. Определить размеры поперечного сечения балки в следующих вариантах:

- а) Прямоугольник с заданным соотношением сторон;
- б) Круг;
- в) Кольца с заданным соотношением диаметров;
- г) Двутавр.

### Необходимое оборудование

1. Чертежный инструмент;
2. Калькулятор.

### Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал.
2. Изучить методические рекомендации по выполнению работы.
3. Выполнить задание.
4. Сделать выводы о выполненном задании и оформить отчет.

### Контрольные вопросы

1. В каком случае балка работает на изгиб?
2. Что такое чистый и поперечный изгиб?
3. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях бруса при изгибе?
4. Что такое прямой и косой изгиб? Может ли брус круглого поперечного сечения испытывать косой изгиб?
5. Каким методом определяются внутренние силовые факторы,

действующие в поперечных сечениях при изгибе?

6. Для чего строят эпюры Q и M<sub>и</sub>?

7. Сформулируйте правило знаков для поперечной силы и изгибающего момента.

8. Какими линиями очерчиваются эпюры Q и M<sub>и</sub> на участке действия равномерно распределенной нагрузки?

### Теоретическая часть

#### Задача 1

Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов для балки, изображенной на рисунке 1а.

Решение.

Определяем опорные реакции

$$\sum M_A = 0; \quad q \cdot 3 \cdot a \cdot 0,5 \cdot a + F \cdot 2 \cdot a + M - R_B \cdot 4 \cdot a = 0$$

$$\text{Или: } 2 \cdot 3 \cdot 0,5 + 2 \cdot 2 + 5 - R_B \cdot 4 = 0;$$

$$\sum M_B = 0; \quad -q \cdot 3 \cdot a \cdot 3,5 \cdot a + R_A \cdot 4 \cdot a - F \cdot 2 \cdot a + M = 0 \text{ или}$$

$$-2 \cdot 3 \cdot 3,5 + R_A \cdot 4 - 2 \cdot 2 + 5 = 0,$$

откуда

$$R_B = 12/4 = 3 \text{ кН}; \quad R_A = 20/4 = 5 \text{ кН}.$$

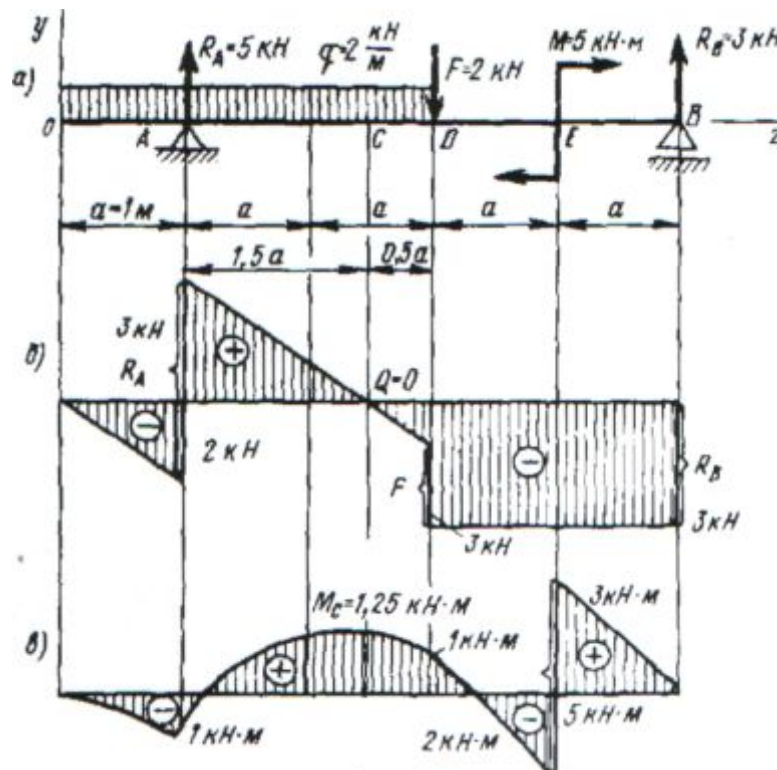


Рисунок 1 – Эпюра моментов

Для проверки правильности определения опорных реакций составляем сумму проекций всех сил, приложенных к балке, на вертикальную ось y

$$\sum F_{iy} = 0; \quad -q \cdot 3 \cdot a + R_A - F + R_B = 0;$$

$$-2 \cdot 3 \cdot 1 + 5 - 2 + 3 = 0.$$

Опорные реакции найдены правильно.

Характерными являются крайняя точка  $O$ , опорные сечения  $A$  и  $B$  и точки приложения нагрузок  $O$  и  $E$ . Вычисляем значения поперечных сил в сечениях, проходящих через указанные точки в соответствии с рисунком 1б. В сечении  $O$

$Q = 0$ . В сечении  $A$  слева

$$Q_A = -q \cdot a = -2 \text{ кН};$$

на консоли эпюра поперечных сил ограничена наклонной прямой. В сечении  $A$  справа

$$Q_A = -q \cdot a + R_A \text{ или } Q_A = -2 + 5 = 3 \text{ кН};$$

здесь имеет место скачок, равный  $R_A = 5$  кН. В сечении  $D$  слева

$$Q_D = -3 \cdot q \cdot a + R_A;$$
$$Q_D = -3 \cdot 2 + 5 = -1 \text{ кН}.$$

В сечении  $D$  справа

$$Q_D = -3 \cdot q \cdot a + R_A - F;$$
$$Q_D = -3 \cdot 2 + 5 - 2 = -3 \text{ кН}.$$

В сечении  $D$  эпюра  $Q$  имеет место скачок, равный приложенной силе  $F = 2$  кН.

На участке  $AD$ , как и на консоли  $OA$ , эпюра поперечных сил ограничивается наклонной прямой, так как на обоих участках действует равномерно-распределенная нагрузка. Наклон прямых на участках  $OA$  и  $OD$  одинаков в связи с равной интенсивностью распределенной нагрузки.

Поперечная сила в некоторой точке  $C$  принимает нулевое значение  $Q = 0$ . Это сечение также является характерным, так как здесь изгибающий момент должен принять экстремальное максимальное значение. Из подобия треугольных элементов эпюры на участке  $AD$  нетрудно определить, что точка  $C$  лежит на расстоянии  $1,5 \cdot a$  от опоры  $A$  или  $0,5 \cdot a$  от сечения  $D$ .

В сечении  $B$  поперечная сила отрицательна и численно равна  $R_B = 3$  кН.

Эпюра поперечных сил построена на рисунке 1б.

Переходим к построению эпюры изгибающих моментов, изображенной на рисунке 1в.

В сечении  $O$   $M = 0$ .

$$\text{В сечении } A \text{ } M_a = -q \cdot a^2 / 2 \text{ или } M_a = 2 \cdot 1^2 / 2 = -1 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

на консоли эпюра моментов изображается параболой, как на участке, загруженном равномерно-распределенной нагрузкой. В сечении  $C$

$$M_c = -q \cdot (2,5 \cdot a)^2 / 2 + R_A \cdot 1,5 \cdot a \text{ или } M_c = -2 \cdot 2,25^2 / 2 + 5 \cdot 1,5 = 1,25 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Это значение момента является максимальным на участке  $AD$ , на эпюре моментов в этом сечении имеет место перегиб. Эпюра моментов ограничена параболой.

В сечении  $D$ .

$$M_c = -q \cdot 3 \cdot a \cdot 1,5 \cdot a + R_A \cdot 2 \cdot a \text{ или } M_c = -2 \cdot 3 \cdot 1,5 + 5 \cdot 2 = 1 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

В точке  $E$ , где приложена сосредоточенная пара сил, вычисляем моменты слева и справа от пары сил. В сечении  $E$  слева

$$M_E = -q \cdot 3 \cdot a \cdot 2,5 \cdot a + R_A \cdot 3 \cdot a - F \cdot a$$

или  $M_E = -2 \cdot 3 \cdot 2,5 + 5 \cdot 3 - 2 \cdot 1 = -2 \text{ кН}\cdot\text{м}$ .

В сечении  $E$  справа

$$M_E = M_E + M \text{ или } M_E = -2 + 5 = 3 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

В сечении  $B$

$$M_B = 0.$$

На участках  $DE$  и  $EB$ , свободных от распределенной нагрузки, эпюра моментов ограничена прямыми наклонными линиями; в сечении  $E$  имеет место скачок, равный моменту приложенной пары  $M = 5 \text{ кН}\cdot\text{м}$ .

Эпюра моментов построена на рисунке 1в. Наибольшее значение момент имеет в сечении  $E$  (справа):

$$M_{max} = 3 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Если по условию задачи необходимо из условия прочности при изгибе, определить размеры поперечного сечения балки, то следует определить осевой момент сопротивления сечения

$$W_x = M_H / [\sigma_H] \cdot 10^3$$

А затем определяем:

- размеры балки прямоугольно сечения

$$h / b = 2; \quad h = 2 \cdot b.$$

$$W_x = b \cdot h^2 / 6$$

$$b = \sqrt[3]{W_x \cdot 6 / 4};$$

- диаметр балки круглого сечения

$$W_x = 0,1 \cdot d^3;$$

$$d = \sqrt[3]{W_x / 0,1}.$$

- диаметр балки кольцевого сечения

$$c = d / d_H,$$

$$W_x = 0,1 \cdot d_H^3 \cdot (1 - c^4).$$

Номер двутавра подбираем по таблицам стандартных профилей.

Вывод: Самым экономным сечением является балка стандартного профиля - двутавр, затем балка кольцевого сечения, затем балка прямоугольного сечения и затем балка круглого сечения.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №9 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Цель работы:** Изучение конструкции зубчатых колёс, закрепление формул геометрического расчёта зубчатых колёс, вычерчивание рабочего чертежа зубчатого колеса.

### Необходимое оборудование

1. Линейка масштабная или штангенциркуль;
2. Штангензубомер;
3. Угломер универсальный;
4. Зубчатое колесо.

### Порядок проведения работы

1. Сосчитать число зубьев колеса.
2. Замерить диаметр вершин зубьев линейкой или штангенциркулем.

Если число зубьев нечётное, диаметр вершин зубьев получают складывая замеры диаметра вала (отверстия) и расстояние от отверстия до вершины зуба (по радиусу).

$$d_a = d_e + 2 \cdot K,$$

$K$  - расстояние от отверстия до вершины зуба, мм;

$d_e$  - диаметр вала (отверстия), мм.

3. Вычислить окружной модуль зубьев и принять его по ГОСТ9563-60.

$$m = d_a / z + 2,$$

где  $z$  - количество зубьев.

Значение модулей по ГОСТ 9563-60 (извлечение)

1. ряд: 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20.

2. ряд: 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 5,5; 7; 9; 11; 14; 18.

Примечание - Предпочтительно применение первого ряда; в стандарте регламентированы модули от 0,5 до 100 мм, в силовых передачах модули менее 1,5 мм не принимаются, для косозубых колес стандартным считать модуль нормальный.

3. Вычислить все геометрические размеры колеса, замерить все конструктивные размеры колеса и поместить в отчёт.

4. Вычертить рабочий чертёж в масштабе 1:1; 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:10 и поставить все размеры в буквах и цифрах.

### Контрольные вопросы

1. В чём различие между начальной и делительной окружностями, когда эти окружности совпадают?

2. Какие колеса называют нормальными?
3. Дайте определение шага и модуля зубьев.
4. Какова зависимость между шагом и модулем зубьев?
5. Какова зависимость между диаметром делительной окружности и модулем зубьев?
6. Какова зависимость между диаметром делительной окружности и шагом зубьев?
7. Что такое радиальный зазор?
8. Чему равен радиальный зазор у нормальных колёс?
9. Чему равен стандартный угол зацепления?
10. Как определить диаметр делительной окружности по числу зубьев?
11. Какое минимальное число зубьев допускается для шестерен, нарезанных без смещения для различных видов зубчатых передач?
12. Каковы возможные причины выхода из строя зубчатых колес?
13. Как различаются зубчатые колеса по конструкции?

### Пример составления отчета

Таблица 1- Геометрические размеры зубчатого колеса

Наименование величины и размерность	Обозначение	Способ определения	Результат измерения и вычисления
Число зубьев	$z$	сосчитать	
Окружной модуль зубьев, мм	$m_x$	по стандарту	
Диаметр делительной окружности, мм	$d$	$d = mz$	
Высота головки зуба, мм	$h_a$	$h_a = m$	
Диаметр окружности вершин зубьев, мм	$d_a$	$d_a = m(z + 2)$	
Высота ножки зуба, мм	$h_f$	$h_f = 1,25m$	
Диаметр окружности впадин, мм	$d_f$	$d_f = m(z - 2,5)$	
Окружной шаг зубьев, мм	$p$	$p = \pi m$	
Угол зацепления, град	$\alpha$	по стандарту	
Ширина венца колеса, мм	$b$	замерить	
Коэффициент ширины колеса	$\psi$	$\psi_{zm} = \frac{b}{m}$	

Таблица 2 - Конструктивные размеры зубчатого колеса

Наименование величины и размерность	Обозначение	Способ определения	Результат измерения и вычисления
Толщина обода зубчатого венца, мм	$\delta_0$	замерить	
Диаметр обода внутренний, мм	$D_0$	замерить	
Толщина диска, мм	$C$	замерить	
Диаметр вала под колесо, мм	$D_e$	замерить	
Диаметр ступицы колеса, мм	$d_{ст}$	замерить	
Длина ступицы колеса, мм	$l_{ст}$	замерить	
Диаметр отверстия диска, мм	$d_{отв}$	замерить	
Число отверстий	$n$	сосчитать	
Диаметр окружности, на которой расположены отверстия, мм	$D_{отв}$	$D_{отв} = 0,5(D_0 + d_{отв})$	

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №10 ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА

**Цель работы:** Ознакомление с конструкцией редуктора и назначением его деталей; составление кинематической схемы реального зубчатого редуктора; определение параметров зубчатых параметров редуктора путем их замера и расчета.

### Необходимое оборудование

1. Редуктор;
2. Набор слесарного инструмента;
3. Набор мерительного инструмента.

### Порядок проведения работы

1. Произвести внешний осмотр редуктора, изучить конструкции корпуса и назначение деталей, наметить план разработки редуктора.
2. Произвести разработку редуктора - отвинтить соединительные болты, снять крышку редуктора и крышки подшипниковых узлов.
3. Ознакомиться с внутренним устройством редуктора, обратить внимание на способ смазки зацепления и подшипников, как осуществляется контроль уровня смазки, как осуществляется слив масла.
4. Снять осторожно входной, промежуточный и выходной валы вместе с деталями и подшипниками, установленными на них.
5. Путем замеров и расчетов определить основные размеры и параметры зубчатого зацепления и поместить их в отчет, заполнив таблицу (приложение А).
6. После выполнения всех замеров и уяснения внутренней конструкции редуктора установить валы на место, проверить качество (плавность) зацепления колес, установить крышки и закрепить их болтами.

7. Составить и вычертить в масштабе кинематическую схему редуктора с необходимыми обозначениями.

### Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются редукторы?
2. Чем объясняется неодинаковая ширина венца шестерни и колеса зубчатой пары редуктора?
3. В каких случаях шестерню изготавливают заодно с валом?
4. По каким параметрам регламентируются стандартные редукторы?
5. Каждый ли редуктор может быть обратимым, и как называют такие механизмы?

### Пример составления отчета

1. Указать тип редуктора.
2. Вычертить кинематическую схему редуктора.
3. Заполнить таблицу 1.
4. Указать способ смазки зубчатой передачи.
5. Указать способ смазки подшипников.

Примечание:

- межосевое расстояние сравнить с ГОСТ для данного типа редукторов;
- модуль зацепления  $m_n$  округлить до ближайшего значения по ГОСТ 8563-77.

Таблица 1 – Форма для заполнения

Наименование величины и размерности	Обозначение	Способ определения	Результаты измерений и вычислений	
			Быстроходная ступень	Тихоходная ступень
Число зубьев шестерни	$z_1$	Сосчитать		
Число зубьев колеса	$z_2$	Сосчитать		
Передаточное число ступени	$U_1$ $U_2$	$U_1 = Z_2 / Z_1$ $U_2 = Z_4 / Z_5$		
Передаточное число редуктора	$U_{об}$	$U_{об} = U_1 \cdot U_2$		
Межосевое расстояние, мм	$a_w$	измерить		
Угол наклона зуба по Вершинам, град	$\beta_a$	измерить		
Угол наклона зуба по делительному диаметру, град	$\beta$	$\beta = \arctg \frac{z_1}{z_1 + 2} \cdot \operatorname{tg} \beta_a$		
Модуль нормальный, мм	$m_n$	$m_n = \frac{2 \cdot a_w}{z_1 + z_2} \cdot \cos \beta$		
Модуль торцовый, мм	$m_t$	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$		
Диаметры делительных окружностей, мм	$d_1$ $d_2$	$d_1 = m_t \cdot z_1$ $d_2 = m_t \cdot z_2$		
Диаметры вершин зубьев	$d_{a1}$ $d_{a2}$	$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n$ $d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_n$		
Ширина венцов колес, мм	$b_1$ $b_2$	измерить измерить		



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №11 МУФТЫ

**Цель работы:** Выработать умение определять или задаваться необходимыми величинами для пользования справочной литературой, научиться использовать справочную литературу.

### Необходимое оборудование

1. Конспект лекций.
2. Чертежный инструмент.

### Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал.
2. Изучить теоретические рекомендации.
3. Выполнить задание.
4. Сделать выводы о выполненном задании и оформить отчет.

### Контрольные вопросы

1. Что называется муфтой?
2. Каковы функции муфты?
3. Как подразделяются муфты?
4. Какие муфты относятся к жестким муфтам?
5. Какие различают виды упругих муфт?

### Теоретическая часть

#### Задача 1.

В приводе подъемника электродвигатель соединен с редуктором муфтой втулочно-пальцевой (МУВП). Мощность двигателя  $P = 15$  кВт, при угловой скорости  $\omega = 99,9$  рад/с, диаметры валов электродвигателя и редуктора  $d = 35$  мм. Подобрать муфту и проверить пальцы и резиновые втулки на прочность. Подъемник работает при спокойной нагрузке.

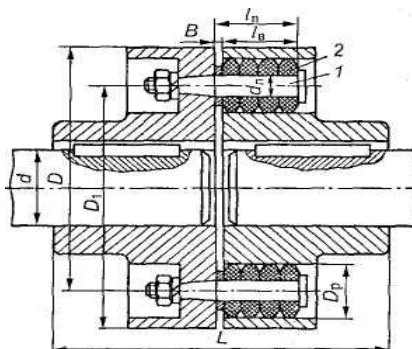


Рисунок 1 - Муфта упругая втулочно-пальцевая  
1 - пальцы; 2 - эластичные втулки

Решение.

1. Вращающий момент на валу электродвигателя  $M_{вр}$ , Н·м:

$$M_{вр} = P / \omega \text{ или } M_{вр} = 15 \cdot 103 / 99,9 \approx 150 \text{ Н·м.}$$

2. При спокойной нагрузке принимаем коэффициент режима работы муфты:

$$K = 1,1,$$

3. Тогда расчетный вращающий момент  $M_{расч}$ , Н·м, определяем по формуле (13.3):

$$M_{расч} = K \cdot M_{вр} = 1 \cdot 150 \text{ Н·м} = 150 \text{ Н·м.}$$

4. По нормальям выбираем муфту с учетом  $M_{расч}$ ,  $\omega$  и  $d$ .

Муфта МУВП - 35 с размерами  $d = 35\text{мм}$ ;  $D_I = 140\text{мм}$ ;  $z = 6$ ;  $d_n = 14\text{мм}$ ;

$$l_n = 14\text{мм}, l_b = 28\text{мм.}$$

Допускаемый расчетный момент:

$[M_{расч}] = 240 \text{ Н·м}$ . 5. Проверяем пальцы на изгиб по формуле,

$$\begin{aligned} \sigma_{и.п.} &= M_n / W_x \text{ или: } \sigma_{и.п.} = (M_{расч} \cdot l_n) / (0,1 \cdot d_n^3 \cdot D_I \cdot z) = \\ &= (150 \cdot 10^3 \cdot 14) / (0,1 \cdot 14^3 \cdot 140 \cdot 6) \approx 9 \text{ Н / мм}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{и.п.} < [\sigma]_{и.п.}$$

где  $[\sigma]_{и.п.} = \text{от } 80 \text{ до } 90 \text{ Н/мм}^2$  - допускаемые напряжение изгиба для пальцев из стали 45 /4, с. 365/.

5. Проверяем резиновые втулки на смятие по формуле.

Условие прочности на смятие:

$$\sigma_{см} = \leq [\sigma_{см}],$$

где  $[\sigma_{см}] \approx 2 \text{ Н / мм}^2$  - допускаемое напряжение на смятие резины.

$$\begin{aligned} \sigma_{см} &= (2 \cdot M_{расч}) / (D_I \cdot z \cdot d_n \cdot l_b) \text{ или:} \\ \sigma_{см} &= (2 \cdot 150 \cdot 10^3) / (140 \cdot 6 \cdot 14 \cdot 28) \approx 0,9 \text{ Н/мм}^2 \end{aligned}$$

$$\text{То есть: } \sigma_{см} = 0,9 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma_{см}] = 2 \text{ Н/мм}^2.$$

Вывод: выбранная муфта удовлетворяет условию прочности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основная литература

1. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.И. Вереина – 14-е изд., испр. - М: Издательский центр «Академия», 2017. – 224 с.
2. Техническая механика: учебник для сред. проф. образования / Эрдеди, А. А., Эрдеди, Н. А. – 9-е изд., испр. - М: Издательский центр «Академия», 2014. – 302 с.

### Дополнительная литература

3. Техническая механика: учебник / Г.Г. Сафонова, Т.Ю. Артюховская, Д.А. Ермаков. – М. : ИНФРА-М, 2017. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование) - ISBN 978-985-503-444-6 ; То же [Электронный ресурс].  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=891734>.
4. Завистовский, В.Э. Техническая механика: учебное пособие / В.Э. Завистовский, Л.С. Турищев. - Минск : РИПО, 2015. - 368 с. : схем., табл., ил. - Библиогр.: с. 354-355. - ISBN 978-985-503-444-6 ; То же [Электронный ресурс].  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=463706>