

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ  
«ЧЕРЕМХОВСКИЙ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ  
ИМ. М.И. ЩАДОВА»**

**РАССМОТРЕНО**

на заседании ЦК  
«Горных дисциплин»  
Протокол №5  
«09» января 2024г.  
Председатель: Н.А. Жук

**Утверждаю:**  
Зам. директора по УР  
О.В. Папанова  
«22» февраля 2024г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по практическим занятиям студентов  
учебной дисциплины

***ОП.09. ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА***

***23.02.01 Организация перевозок и управление на транспорте (по видам)***

Разработал:  
Н.А. Пилипченко

2024г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>СТР.</b>
1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	3
2 ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	4
3 СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	4
4 ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	26
ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ И ДОПОЛНЕНИЙ, ВНЕСЕННЫХ В МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	27

## 1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по практическим занятиям учебной дисциплины «Техническая механика» составлены в соответствии с учебным планом и рабочей программы дисциплины по специальности **23.02.01 Организация перевозок и управление на транспорте (автомобильном)**.

Цель проведения практических занятий: формирование практических умений, необходимых в последующей профессиональной и учебной деятельности.

Методические указания практических занятий являются частью учебно-методического комплекса по учебной дисциплине и содержат:

- тему занятия (согласно тематическому плану учебной дисциплины);
- цель;
- оборудование (материалы, программное обеспечение, оснащение, раздаточный материал и др.);
- методические указания (изучить краткий теоретический материал по теме практического занятия);
- ход выполнения;
- форму отчета.

В результате выполнения полного объема заданий практических занятий студент должен **уметь**:

- производить расчет на растяжение и сжатие на срез, смятие, кручение и изгиб;
- выбирать детали и узлы на основе анализа их свойств для конкретного применения;

В результате освоения учебной дисциплины студент должен **знать**:

- основные понятия и аксиомы теоретической механики, законы равновесия и перемещения тел;
- методики выполнения основных расчетов по теоретической механике, сопротивлению материалов и деталям машин;
- основы проектирования деталей и сборочных единиц;
- основы конструирования.

При проведении практических работ применяются следующие технологии и методы обучения:

ТЕХНОЛОГИИ	МЕТОДЫ
Обучение в сотрудничестве	Словесные
Проблемно-развивающее обучение	Наглядные
Развивающее обучение	Практические
Технология учебно-поисковой деятельности	

### Оценка выполнения заданий практических (лабораторных) занятий

**«Отлично»** - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, умения сформированы, все предусмотренные программой учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено высоко.

**«Хорошо»** - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые умения сформированы недостаточно, все предусмотренные программой учебные задания выполнены, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

**«Удовлетворительно»** - теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые умения работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий содержат ошибки.

**«Неудовлетворительно»** - теоретическое содержание курса не освоено, необходимые умения не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки.

В соответствии с учебным планом и рабочей программы дисциплины **«Техническая механика»** на практические занятия отводится **20 часов**.

## 2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Тема практических занятий	Кол-во часов
1.	<b>Практическое занятие № 1.</b> Определение проекций сил на оси $x$ и $y$	2
2.	<b>Практическое занятие № 2.</b> Определение усилий и подбор элементов плоской системы сходящихся сил	2
3.	<b>Практическое занятие № 3.</b> Определение центра тяжести плоских фигур	2
4.	<b>Практическое занятие № 4.</b> Определение траектории, скорости и ускорения точки	2
5.	<b>Практическое занятие № 5.</b> Расчет прочности сжатых и растянутых элементов.	2
6.	<b>Практическое занятие № 6.</b> Расчет валов и осей на кручение. Построение эпюр крутящих моментов	2
7.	<b>Практическое занятие № 7.</b> Построение эпюр продольных и нормальных напряжений при растяжении и сжатии.	2
8.	<b>Практическое занятие № 8.</b> Расчет и подбор сечения балки на поперечный изгиб	2
9.	<b>Практическое занятие № 9.</b> Расчет на устойчивость сжатых стержней.	2
10.	<b>Практическое занятие № 10.</b> Подбор подшипников качения и скольжения	2

## 3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### Практическое занятие № 1

**Тема:** Определение проекций сил на оси  $x$  и  $y$

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний; уметь определять направление и величину вектора по его проекциям, уметь записывать уравнение равновесия плоской системы сходящихся сил.

**Оборудование:** раздаточный материал

**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

**Задание 1.** Повторить по учебнику тему «Плоская система сходящихся сил».

**Задание 2.** Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	F <sub>1</sub> , н	F <sub>2</sub> , н	F <sub>3</sub> , н	F <sub>4</sub> , н	№ варианта	F <sub>1</sub> , н	F <sub>2</sub> , н	F <sub>3</sub> , н	F <sub>4</sub> , н	№ варианта	F <sub>1</sub> , н	F <sub>2</sub> , н	F <sub>3</sub> , н	F <sub>4</sub> , н
1	100	50	45	60	11	90	85	70	105	21	110	30	50	95
2	90	100	50	45	12	60	90	85	70	22	105	110	30	50
3	85	90	100	50	13	45	60	90	85	23	70	105	110	30
4	70	85	90	100	14	50	45	60	90	24	85	70	105	110
5	105	70	85	90	15	100	50	45	60	25	90	85	70	105
6	110	105	70	85	16	90	100	50	45	26	60	90	85	70
7	30	110	105	70	17	85	90	100	50	27	45	60	90	85
8	50	30	110	105	18	70	85	90	100	28	50	45	60	90
9	95	50	30	110	19	105	70	85	90	29	100	50	45	60
10	100	95	50	30	20	110	105	70	85	30	90	100	50	45

**Задание 3.** Рассмотрите пример решения.

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 100 \text{ Н.}$$

$$F_{x1} = F_1 \times \cos 30^\circ = F_1 \times 0,866 = 100 \times 0,866 = 86,6 \text{ Н.}$$

$$F_{y1} = F_1 \times \sin 30^\circ = F_1 \times 0,5 = 100 \times 0,5 = 50 \text{ Н.}$$

$$F_{x2} = -F_2 \times \cos 45^\circ = -F_2 \times 0,707 = -100 \times 0,707 = -70,7 \text{ Н.}$$

$$F_{y2} = -F_2 \times \sin 45^\circ = -F_2 \times 0,707 = -100 \times 0,707 = -70,7 \text{ Н.}$$

$$F_{x3} = -F_3 \times \cos 60^\circ = -F_3 \times 0,5 = -100 \times 0,5 = -50 \text{ Н.}$$

$$F_{y3} = -F_3 \times \sin 30^\circ = -F_3 \times 0,866 = -100 \times 0,866 = -86,6 \text{ Н.}$$

$$F_{x4} = F_4 \times \cos 30^\circ = F_4 \times 0,866 = 100 \times 0,866 = 86,6 \text{ Н.}$$

$$F_{y4} = -F_4 \times \sin 60^\circ = -F_4 \times 0,866 = -100 \times 0,866 = -86,6 \text{ Н.}$$

**Задание 4.** Зарисуйте прямоугольную систему координат  $x - O - y$ , с указанием сил, углов и проекций сил.

**Задание 5.** Определите проекции сил.

**Задание 6.** Сделайте вывод.

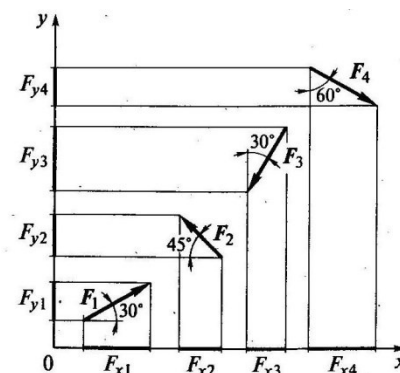
**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение силы в статике.
2. Какими признаками характеризуется понятие силы?
3. Как графически изображается сила и как она изображается в тексте?
4. Что такое проекция силы на ось и как она определяется?

**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

## Практическое занятие № 2

**Тема:** Определение усилий и подбор элементов плоской системы сходящихся сил



**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний; произвести графическое и аналитическое исследование плоской системы сходящихся сил, выявить уравновешена ли заданная система сил.

**Оборудование:** раздаточный материал

**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

**Задание 1.** Повторить по учебнику тему «Плоская система сходящихся сил».

**Задание 2.** Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

1. Для заданной системы сходящихся сил в соответствии с вариантом построить в масштабе силовой многоугольник. Записать выбранный масштаб сил. Измерить линейкой длину вектора равнодействующей и транспортиром угол между равнодействующей и осью x. Учитывая масштаб построения, вычислить модуль равнодействующей силы.

2. Вычислить модуль и направление равнодействующей аналитическим методом проекций.

3. Определить относительные погрешности вычисления модуля и направления равнодействующей. При расхождении более 10% вычисления и построения следует проверить.

4. Сделать вывод об уравновешенности заданной системы сил.

5. Ответить на контрольные вопросы.

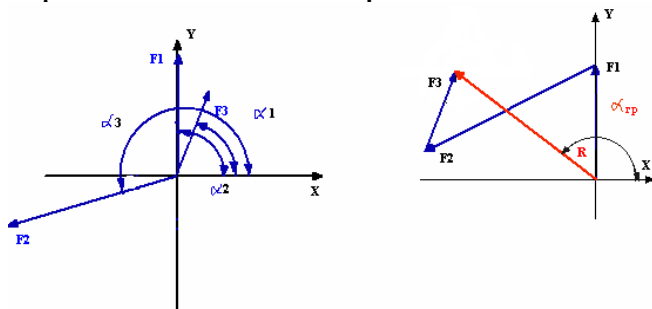
### Пример выполнения

Задание:

$$F_1 = 4 \text{ Н}, \alpha_1 = 90^\circ, F_2 = 6 \text{ Н}, \alpha_2 = 200^\circ, F_3 = 3 \text{ Н}, \alpha_3 = 70^\circ$$

1. Графическое определение равнодействующей.

Выбираем масштаб сил –  $\mu_F = 0.1 \text{ Н/мм}$



Модуль равнодействующей -  $F_{\vec{a}} = \mu_F * 1 = 0.1 * 68 = 6.8$ ,

Направление равнодействующей -  $\alpha_{\vec{a}} = 134^\circ$

2. Аналитическое определение равнодействующей проекции заданных сил на оси x и y:

$$F_{1x} = F_1 * \cos \alpha_1 = 4 * \cos 90^\circ = 0;$$

$$F_{1y} = F_1 * \sin \alpha_1 = 4 * \sin 90^\circ = 4 \text{ Н}$$

$$F_{2x} = F_2 * \cos \alpha_2 = 6 * \cos 200^\circ = -5.638 \text{ Н};$$

$$F_{2y} = F_2 * \sin \alpha_2 = 6 * \sin 200^\circ = -1.368 \text{ Н}$$

$$F_{3x} = F_3 * \cos \alpha_3 = 3 * \cos 70^\circ = 1.026 \text{ Н};$$

$$F_{3y} = F_3 * \sin \alpha_3 = 3 * \sin 70^\circ = 2.819 \text{ Н}$$

Проекция равнодействующей:

$$F_{\Sigma x} = \sum F_{ix} = 0 - 5.638 + 1.026 = -4.612 \text{ Н},$$

$$F_{\Sigma y} = \sum F_{iy} = 4 - 1.368 + 2.819 = 5.451 \text{ Н},$$

Модуль равнодействующей:  $F_{\Sigma \dot{a}i} = \sqrt{F_{\Sigma x^2} + F_{\Sigma y^2}} = \sqrt{4,612^2 + 5,451^2} = 7.140 \text{ Н}$

Направление равнодействующей:  $\alpha_{\dot{a}i} = \arctg \frac{F_{\Sigma x}}{F_{\Sigma y}} = \arctg \frac{5,451}{-4,612} = 130,23^\circ$

### 3. Относительные погрешности

Погрешность вычисления модуля равнодействующей.

$$\Delta F_{\Sigma} = \left| \frac{F_{\Sigma_{uh}} F_{\Sigma_{fy}}}{F_{\Sigma_{uh}}} \right| * 100\% = \left| \frac{6,8 - 7,140}{7,140} \right| * 100\% = 5,00\%$$

Погрешность вычисления направления равнодействующей

$$\Delta \alpha = \left| \frac{\alpha^{zp} - \alpha^{an}}{\alpha^{zp}} \right| * 100\% = \left| \frac{134 - 130,23}{134} \right| * 100\% = 2,81\%$$

Вывод: система является неуравновешенной.

Модуль равнодействующей -  $F_{\Sigma^{an}} = 7.140 \text{ Н}$ , направление -  $\alpha^{an} = 130,23^\circ$ .

Относительные погрешности не превышают 5%.

Таблица 1.1

№ варианта	Заданные силы, Н			Углы между силой и осью x, град		
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	α <sub>3</sub>
1	4	8	2	45	135	315
2	1	6	9	60	110	225
3	3	4	6	110	20	310
4	9	1	4	20	210	90
5	8	7	9	60	120	300
6	4	3	1	45	90	180
7	2	1	9	150	240	270
8	3	4	5	60	300	90
9	1	7	3	120	60	20
10	7	8	9	150	45	330
11	2	8	5	135	30	290
12	3	2	9	140	80	120
13	4	9	2	20	200	270
14	5	7	8	45	190	240
15	8	1	3	180	225	45
16	7	5	8	210	130	30
17	6	3	9	80	120	330
18	5	4	3	75	180	225
19	4	7	1	60	140	220
20	3	5	6	40	160	270
21	2	7	9	20	110	200
22	8	6	4	135	210	330
23	1	7	8	300	60	150
24	3	9	6	270	120	60
25	4	6	8	90	150	270

## Контрольные вопросы

1. Как производится графическое сложение сил, приложенных к твёрдому телу в одной точке? Влияет ли порядок сложения векторов при построении силового многоугольника на величину равнодействующей?
2. Каково направление равнодействующей силы в силовом многоугольнике?
3. Можно ли построив силовой многоугольник, сделать вывод об уравновешенности заданной системы?
4. Как определяется проекция силы на ось? В каком случае она равна нулю?
5. Каково аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил?
6. В каких случаях следует графический способ определения равнодействующей, а в каких – аналитический?
7. Как можно произвести уравнивание плоской системы сходящихся сил?

**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

## Практическое занятие № 3

**Тема:** Определение центра тяжести плоских фигур

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний для определения центра тяжести плоских фигур;

**Оборудование:** раздаточный материал

**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

**Задание 1.** Повторить по учебнику тему «Центр тяжести».

**Задание 2.** Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	x <sub>1</sub> , мм	x <sub>2</sub> , мм	y, мм	z <sub>1</sub> , мм	z <sub>3</sub> , мм	№ варианта	x <sub>1</sub> , мм	x <sub>2</sub> , мм	y, мм	z <sub>1</sub> , мм	z <sub>3</sub> , мм	№ варианта	x <sub>1</sub> , мм	x <sub>2</sub> , мм	y, мм	z <sub>1</sub> , мм	z <sub>3</sub> , мм
1	20	30	70	40	10	11	60	70	110	80	50	21	40	50	90	60	30
2	40	50	90	60	30	12	50	60	100	70	40	22	60	70	110	80	50
3	60	70	110	80	50	13	20	30	70	40	10	23	50	60	100	70	40
4	50	60	100	70	40	14	40	50	90	60	30	24	20	30	70	40	10
5	20	30	70	40	10	15	60	70	110	80	50	25	40	50	90	60	30
6	40	50	90	60	30	16	50	60	100	70	40	26	60	70	110	80	50
7	60	70	110	80	50	17	20	30	70	40	10	27	50	60	100	70	40
8	50	60	100	70	40	18	40	50	90	60	30	28	20	30	70	40	10
9	20	30	70	40	10	19	60	70	110	80	50	29	40	50	90	60	30
10	40	50	90	60	30	20	50	60	100	70	40	30	60	70	110	80	50

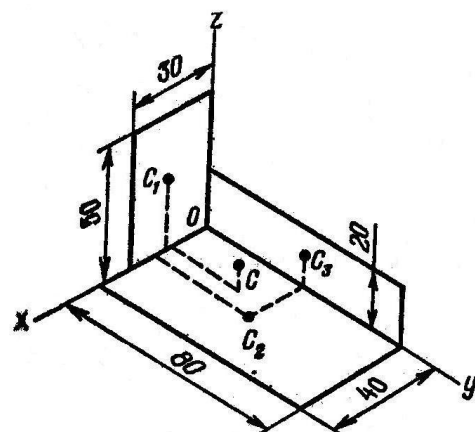
**Задание 3.** Рассмотрите пример решения.

### Пример.

Определить положение центра тяжести фигуры, составленной из трех тонких плоских пластинок прямоугольной формы, пересекающихся друг с другом под прямыми углами; размеры – в мм.

Решение.

1. Поместим начало координат в вершине трехгранного угла и расположим оси координат вдоль линий пересечения пластинок.





Фигура состоит из трех прямоугольников с центрами тяжести  $C_1, C_2, C_3$ , расположенными на пересечении прямых, соединяющих середины противоположных сторон.

2. Исходя из размеров фигуры, определим необходимые данные для подстановки в формулы (3):  $A_k$  – площади прямоугольников и координаты их центров тяжести:

$$A_1 = 3 \cdot 5 = 15 \text{ см}^2; C_1 (1, 5; 0; 2, 5);$$

$$A_2 = 4 \cdot 8 = 32 \text{ см}^2; C_2 (2; 4; 0);$$

$$A_3 = 8 \cdot 2 = 16 \text{ см}^2; C_3 (0; 4; 1).$$

3. Подставим эти данные в формулы (4) и вычислим искомые координаты центра тяжести фигуры:

$$x_c = (15 \cdot 1,5 + 32 \cdot 2 + 16 \cdot 0) / (15 + 32 + 16) = 1,37 \text{ см} = 13,7 \text{ мм}$$

$$y_c = (15 \cdot 0 + 32 \cdot 4 + 16 \cdot 4) / (15 + 32 + 16) = 3,04 \text{ см} = 30,4 \text{ мм}$$

$$z_c = (15 \cdot 2,5 + 32 \cdot 0 + 16 \cdot 1) / (15 + 32 + 16) = 0,85 \text{ см} = 8,5 \text{ мм}$$

Центр тяжести фигуры расположен в точке  $C (13,7; 30,4; 8,5)$ .

4. Решите свой вариант.

5. Ответьте на вопросы.

6. Сделайте вывод.

#### Контрольные вопросы:

1. Дайте определение центра тяжести тела.
2. Чему равен статический момент площади относительно оси абсцисс?
3. В каких единицах измеряется статический момент плоской фигуры?
4. Чему равен статический момент плоской фигуры относительно центральной оси?

**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

#### Практическое занятие № 4

**Тема:** Определение траектории, скорости и ускорения точки

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Оборудование:** раздаточный материал

**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

**Задание 1.** Повторить по учебнику тему «Кинематика точки».

**Задание 2.** Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	$S$ , км	$v_A$ , км/ч	$v_B$ , км./ч	№ варианта	$S$ , км	$v_A$ , км/ч	$v_B$ , км/ч	№ варианта	$S$ , км	$v_A$ , км/ч	$v_B$ , км/ч
1	110	30	20,4	11	130	34	24,8	21	110	30	20,4
2	120	32	22,6	12	140	36	26,2	22	120	32	22,6
3	130	34	24,8	13	110	30	20,4	23	130	34	24,8
4	140	36	26,2	14	120	32	22,6	24	140	36	26,2
5	110	30	20,4	15	130	34	24,8	25	110	30	20,4
6	120	32	22,6	16	140	36	26,2	26	120	32	22,6
7	130	34	24,8	17	110	30	20,4	27	130	34	24,8

8	140	36	26,2	18	120	32	22,6	28	140	36	26,2
9	110	30	20,4	19	130	34	24,8	29	110	30	20,4
10	120	32	22,6	20	140	36	26,2	30	120	32	22,6

**Задание 3.** Рассмотрите пример решения.

Из двух пунктов  $A$  и  $B$  прямолинейного шоссе, находящихся один от другого на расстоянии 100 км, одновременно выезжают навстречу друг другу два велосипедиста и движутся с постоянными скоростями. Велосипедист, выезжающий из  $A$ , имеет скорость  $v_A$ , а велосипедист, выезжающий из  $B$ , – скорость  $v_B = 26,6$  км/ч. Определить, за какое время каждый из них проедет расстояние 100 км. Через сколько часов и где они встретятся?

**Решение.**

1. Находим время, затраченное первым велосипедистом на проезд от точки  $A$  до  $B$ :

$$t_{AB} = S_{AB} / v_A = 100 / 40 = 2,5 \text{ ч}$$

2. Находим время, затраченное вторым велосипедистом на проезд от точки  $B$  до  $A$ :

$$t_{BA} = S_{BA} / v_B = 100 / 26,6 = 3,75 \text{ ч.}$$

3. Время и место встречи велосипедистов наиболее просто определить графически. Расстояние между пунктами  $A$  и  $B$ , равное 100 км, изобразим на оси ординат отрезком в 50 мм (рис.202), т.е. в масштабе  $\mu_s = 2$  км/мм (100 км =  $\mu_s \cdot 50$  мм и ...  $\mu_s = 100 \text{ км} / 50 \text{ км} = 2 \text{ км/мм}$ ).

По оси абсцисс отложим время в масштабе  $\mu_t = 0,1$  ч/мм (4 часа изображены отрезком 40 мм, поэтому  $4 \text{ ч} = \mu_t \cdot 40 \text{ мм}$  и  $\mu_t = 4 \text{ ч} / 40 \text{ мм} = 0,1 \text{ ч/мм}$ )

Первый велосипедист расстояние от  $A$  до  $B$  проезжает за 2,5 ч. Его перемещение изображается на графике прямой  $OB_1$ .

Второй велосипедист расстояние от  $B$  до  $A$  проезжает за 3,75 ч и его перемещение изображается на графике прямой  $B_0A_2$

Точка  $C_{12}$  пересечения обоих графиков указывает место и время встречи.

Встреча происходит на расстоянии  $S_A = 60$  км от пункта  $A$  (или на расстоянии.

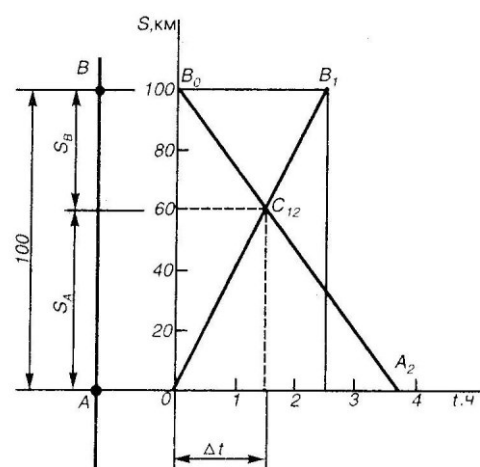
$S_B = 40$  км от пункта  $B$ ) через  $\Delta t = 1,5$  ч после начала движения велосипедистов.

Если вместо графического решения применить аналитическое, то можно рассуждать таким образом.

Допустим, что место встречи происходит на расстоянии  $S$  от пункта  $A$ , а время до встречи  $\Delta t$ , считая от начала движения. Тогда уравнение движения первого велосипедиста примет вид

$S = v_A \cdot \Delta t$  и уравнение движения второго велосипедиста  $S = S_0 - v_B \cdot \Delta t$  где  $S_0 = 100$  км – расстояние от местонахождения второго велосипедиста до пункта  $A$  в момент начала отсчета (при  $t = 0$ ).

Так как левые части уравнения (1) и (2) равны, то  $v_A \cdot \Delta t = S_0 - v_B \cdot \Delta t$ .



Отсюда

$$\Delta t = S_0 / (v_A + v_B) = 100 / (40 + 26,6) = 1,5 \text{ ч.}$$

Из уравнения (1) определяем  $S$ :

$$S = v_A \cdot \Delta t = 40 \cdot 1,5 = 60 \text{ км.}$$

4. Решите свой вариант.

5. Ответьте на вопросы.

6. Сделайте вывод.

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение кинематики.

2. Что называют траекторией?

3. В каких единицах измеряется скорость?

4. Чему равен модуль средней скорости?

5. В каких единицах измеряется ускорение?

**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

### Практическое занятие № 5

**Тема:** Расчет прочности сжатых и растянутых элементов.

**Цель: (обучающая, развивающая, воспитательная):** научиться применять условие прочности при решении задач.

**Оборудование:** раздаточный материал

**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

**Задание 1.** Повторить по учебнику тему «Растяжение и сжатие».

**Задание 2.** Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	G, кН	F, кН	№ варианта	G, кН	F, кН	№ варианта	G, кН	F, кН
1	1,4	10	11	1,6	12	21	1,8	14
2	1,6	12	12	1,8	14	22	2,0	16
3	1,8	14	13	2,0	16	23	2,2	18
4	2,0	16	14	2,2	18	24	1,4	10
5	2,2	18	15	1,4	10	25	1,6	12
6	1,4	10	16	1,6	12	26	1,8	14
7	1,6	12	17	1,8	14	27	2,0	16
8	1,8	14	18	2,0	16	28	2,2	18
9	2,0	16	19	2,2	18	29	1,4	10
10	2,2	18	20	1,4	10	30	1,6	12

**Задание 3.** Рассмотрите пример решения.

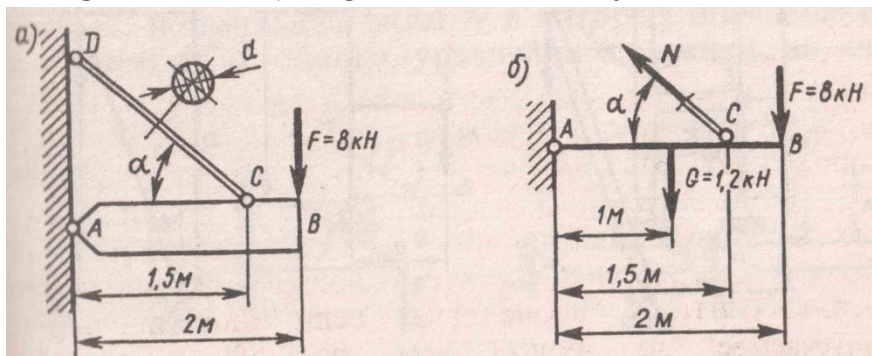
**Пример.**

Однородная жесткая плита  $AB$  силой тяжести  $G = 1,2$  кН нагружена силой  $F = 8$  кН. Определить из условия прочности диаметр стержня  $CD$ , удерживающего плиту в горизонтальном положении;  $\alpha = 45^\circ$ ,  $[\sigma] = 150 \text{ Н/мм}^2$ .

**Решение.**

1. Применяя метод сечений, рассечем стержень  $CD$ . Отбросив верхнюю его часть вместе с шарниром  $D$ , заменим их действие на оставшуюся часть нормальной силой  $N$ . Сила тяжести плиты приложена посередине ее длины.
2. Для определения силы  $N$  составим уравнение моментов относительно точки  $A$  всех сил, действующих на плиту:

$$- G \cdot AB / 2 + N \cdot AC \sin \alpha - F \cdot AB = 0.$$



Отсюда

$$N = (G \cdot AB / 2 + F \cdot AB) / (AC \sin \alpha) = (1,2 \cdot 1 + 8 \cdot 2) / (1,5 \sin 45^\circ) = 16,2 \text{ кН}$$

3. Площадь поперечного сечения стержня, обеспечивающую его прочность, находим по расчетной формуле, имея в виду, что  $N = 16,2 \cdot 10^3 \text{ Н}$  и  $[\sigma] = 150 \text{ Н/мм}^2$ .

$$A \geq N / [\sigma] = 16,2 \cdot 10^3 / 150 = 108 \text{ мм}^2.$$

4. Из формулы площади круга находим диаметр стержня:

$$d = \sqrt{4A / \pi} = \sqrt{4 \cdot 108 / \pi} = 11,8 \text{ мм}.$$

Округляя до четного числа, принимаем значение диаметра  $d = 12 \text{ мм}$ .

4. Решите свой вариант.
5. Ответьте на вопросы.
6. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы:

1. Как нужно нагрузить прямой брус, чтобы он работал только на растяжение (сжатие)?
2. Сформулируйте закон Гука. Каков физический смысл модуля продольной упругости?
3. Что такое «предельное напряжение» и что такое «расчетное напряжение»?
4. Что такое допускаемое напряжение и как оно выбирается в зависимости от свойств материалов?
5. Как можно данную статически неопределимую систему превратить в статически неопределимую?

**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

### Практическое занятие № 6.

**Тема:** Расчет валов и осей на кручение. Построение эпюр крутящих моментов

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Оборудование:** раздаточный материал

**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

**Задание 1.** Для стального вала (рис. 13) построить эпюру крутящих моментов.

**Задание 2.** Определить диаметр вала на каждом участке и полный угол закручивания. Данные для различных вариантов указаны на табл. 13.

Мощности на зубчатых колесах принять  $P_1 = 0,5P_2; P_3 = 0,3P_2; P_4 = 0,2P_2$ .

Указание. Полученное расчетное значение диаметра (в мм) округлить до ближайшего большего числа, оканчивающегося на 0, 2, 5, 8, или по СТС-В 208-75.

**Пример.** Для стального вала (рис. 13, а) построить эпюру крутящих моментов, определить из условия прочности требуемые диаметры каждого участка и углы закручивания этих участков.

Угловую скорость вала принять  $\omega = 100 \text{ рад/с}$ , допускаемое напряжение  $[\tau_{\text{кр}}] = 30 \text{ МПа}$ , модуль сдвига  $G = 0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ .

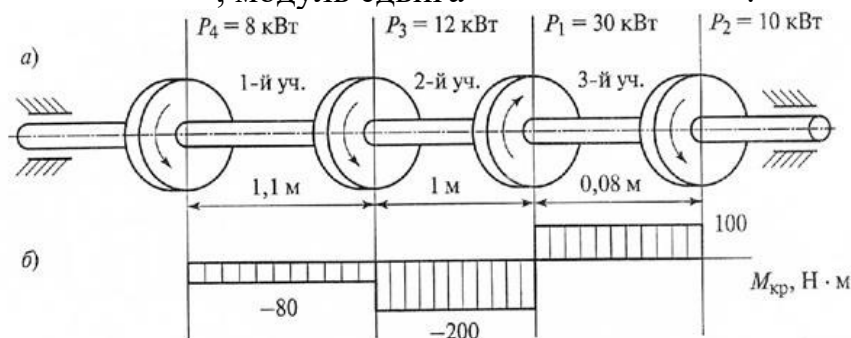


Рис. 3

Рисунок 13

**Решение.** Вал вращается с постоянной угловой скоростью, следовательно, система вращающих моментов уравновешена. Мощность, подводимая к валу без потерь на трение, равен сумме мощностей, снимаемых с вала:

$$P_1 = P_2 + P_3 + P_4 = 10 + 12 + 8 = 30 \text{ кВт}$$

2. Определяем вращающие моменты на шкивах:

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega} = \frac{30 \cdot 10^3}{100} = 300 \text{ Н} \cdot \text{ м};$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{10 \cdot 10^3}{100} = 100 \text{ Н} \cdot \text{ м};$$

$$M_3 = \frac{P_3}{\omega} = \frac{12 \cdot 10^3}{100} = 120 \text{ Н} \cdot \text{ м};$$

$$M_4 = \frac{P_4}{\omega} = \frac{8 \cdot 10^3}{100} = 80 \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

3. Для построения эпюры крутящих моментов разбиваем брус на три участка, границами которых являются сечения, в которых приложены внешние моменты. В пределах каждого участка значения крутящих моментов таковы:

$$M_{\text{сп1}} = -M_4 = -80 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{сп2}} = -M_4 - M_2 = -80 - 120 = -200 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{сп3}} = -M_4 - M_3 + M_1 = -80 - 120 + 300 = 100 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

По найденным значениям строим эпюру крутящих моментов (рис.3,б).

4. Из условия прочности на кручение

$$\tau_{\text{сп}} = \frac{M_{\text{сп}}}{W_{\text{сп}}} \leq [\tau_{\text{сп}}], \quad \text{где } W_{\text{сп}} = 0,2d^3,$$

$$\tau_{\text{сп}} = \frac{M_{\text{сп}}}{0,2d^3} \leq [\tau_{\text{сп}}]$$

Определяем диаметр вала на каждом участке по формуле

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{M_{\text{сп}}}{0,2[\tau_{\text{сп}}]}}$$

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{M_{\text{сп}}}{0,2[\tau_{\text{сп}}]}} = \sqrt[3]{\frac{80 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 25 \text{ мм}$$

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{M_{\text{сп}}}{0,2[\tau_{\text{сп}}]}} = \sqrt[3]{\frac{200 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 35 \text{ мм}$$

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{M_{\text{сп}}}{0,2[\tau_{\text{сп}}]}} = \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 28 \text{ мм}$$

5. Определяем угол закручивания вала на каждом участке по формуле

$$\varphi = \frac{M_{\text{сп}} l \cdot 180^\circ}{J_{\text{сп}} G \pi}$$

где  $J_{\text{сп}}$  - полярный момент инерции сечения.

Для круглого сечения  $J_{\text{сп}} = \frac{\pi d^4}{32} = 0,1d^4$ , тогда  $\varphi = \frac{M_{\text{сп}} l \cdot 180^\circ}{0,1d^4 G \pi}$ .

Угол закручивания

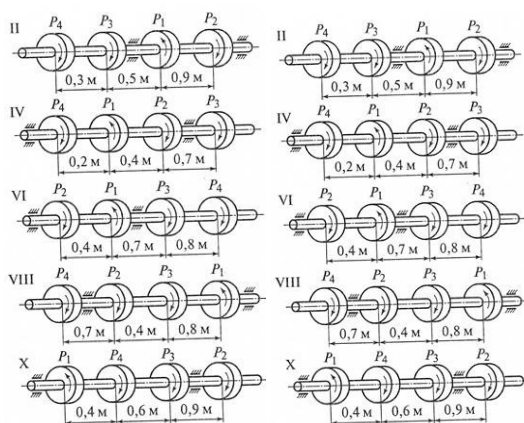
$$\varphi = \frac{M_{\text{сп1}} l_1 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1d_1^4 G} = \frac{-80 \cdot 10^3 \cdot 1,1 \cdot 10^3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 25^4 \cdot 8 \cdot 10^4} = -0,16^\circ;$$

$$\varphi = \frac{M_{\text{сп2}} l_2 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1d_2^4 G} = \frac{-200 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 10^3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 35^4 \cdot 8 \cdot 10^4} = -0,38^\circ;$$

$$\varphi = \frac{M_{\text{сп3}} l_3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1d_3^4 G} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 0,08 \cdot 10^3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 28^4 \cdot 8 \cdot 10^4} = 0,29^\circ$$

**Ответ:**  $d_1 = 25 \text{ мм}; d_2 = 35 \text{ мм}; d_3 = 28 \text{ мм}; \varphi_1 = -0,16^\circ; \varphi_2 = -0,38^\circ; \varphi_3 = 0,29^\circ$ .

Варианты заданий



### Контрольные вопросы и задания

1. Какие деформации возникают при кручении?
2. Какие гипотезы выполняются при деформации кручения?
3. Изменяются ли длина и диаметр вала после скручивания?
4. Какие внутренние силовые факторы возникают при кручении?
5. Что такое рациональное расположение колес на валу?

**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

### Практическое занятие № 7.

**Тема:** Построение эпюр продольных и нормальных напряжений при растяжении и сжатии.

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Оборудование:** раздаточный материал

**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

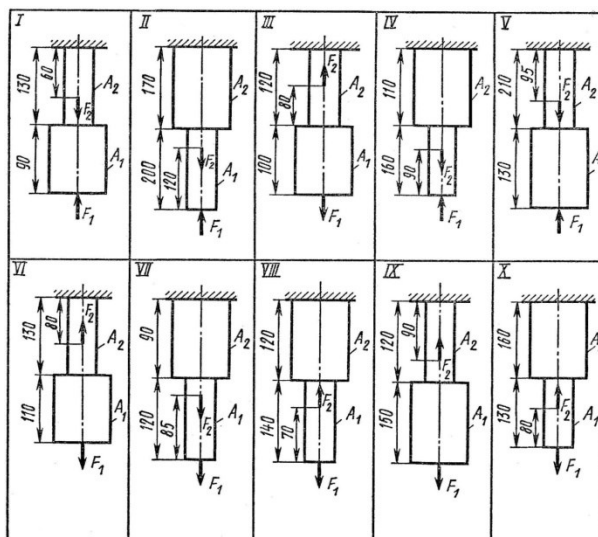
**Задание 1.** Двухступенчатый стальной брус, длина ступеней которого указана на схеме, нагружены силами  $F_1$  и  $F_2$ . Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса.

**Задание 2.** Определить удлинение (укорочение) бруса, приняв  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа.

**Задача:** Числовые значения сил  $F_1$  и  $F_2$ , а так же площадей поперечных сечений ступеней  $A_1$  и  $A_2$  взять из таблицы.

Вариант	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$A_1$ , см <sup>2</sup>	$A_2$ , см <sup>2</sup>
1	22,0	30,6	2,7	2,1
2	16,0	8,0	1,4	0,4
3	3,5	12,0	2,5	1,8
4	15,0	30,0	2,1	1,6
5	10,0	20,0	1,2	0,8
6	12,0	30,0	2,1	2,5
7	14,0	16,0	2,4	2,8
8	6,0	3,0	0,4	0,8
9	10,8	29,0	1,8	2,0
10	3,3	8,0	0,4	0,5





**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

### Практическое занятие № 8.

**Тема:** Расчет и подбор сечения балки на поперечный изгиб

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Оборудование:** раздаточный материал

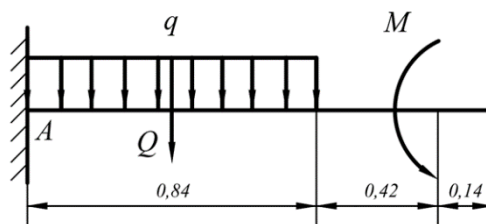
**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

**Задание:**

**Пример.** Для заданной схемы консольной балки требуется построить эпюры поперечной силы  $Q$  и изгибающего момента  $M$ , выполнить проектировочный расчет, подобрав круглое сечение.

Материал — дерево, расчетное сопротивление материала  $R=10\text{МПа}$ ,



$$M=14\text{кН}\cdot\text{м}, q=8\text{кН/м}$$

Строить эпюры в консольной балке с жесткой заделкой можно двумя способами — обычным, предварительно определив опорные реакции, и без определения опорных реакций, если рассматривать участки, идя от свободного конца балки и отбрасывая левую часть с заделкой. Построим эпюры **обычным** способом.

1. Определим **опорные реакции**.

Равномерно распределенную нагрузку  $q$  заменим условной силой  $Q = q \cdot 0,84 = 6,72 \text{ кН}$

В жесткой заделке три опорные реакции — вертикальная, горизонтальная и момент, в нашем случае горизонтальная реакция равна 0.



Найдем **вертикальную** реакцию опоры  $R_A$  и **опорный момент**  $M_A$  из

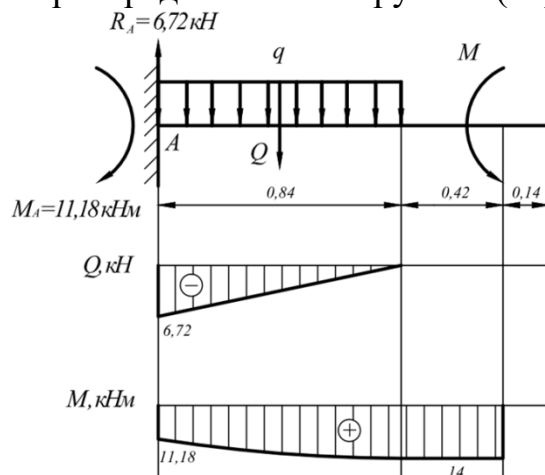
$$R_A - Q = 0 \Rightarrow R_A = Q = 6,72 \text{ кН};$$

$$\sum M_A = 0 \quad -0,42Q + M - M_A = 0 \quad M_A = -0,42Q + M = 11,18 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

уравнений равновесия.

2. Строим эпюру поперечных сил.

На первых двух участках справа поперечная сила отсутствует. В начале участка с равномерно распределенной нагрузкой (справа)  $Q=0$ , в заделке — величине



реакции  $R_A$ .

3. Для построения эпюры изгибающих моментов  $M$  составим выражения для их определения на участках. Эпюру моментов построим на растянутых волокнах,

Участок 1:

$$M_1 = M = 14 \text{ кНм}$$

Участок 2:

$$M_2 = M - \frac{qx^2}{2}$$

$$x = 0 \quad M_2 = 14 \text{ кНм}$$

$$x = 0,84 \quad M_2 = 11,18 \text{ кНм}$$

$$x = 0,42 \quad M_2 = 13,3 \text{ кНм}$$

т.е. вниз.

4. Проектировочный расчет, то есть подбор размеров поперечного сечения.

**Максимальный изгибающий момент** с эпюры  $M=14 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Определим **осевой момент сопротивления сечения**

$$W_x \geq \frac{M_{\max}}{R} \quad W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\max}}{\pi \cdot R}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 14 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 10 \cdot 10^6}} = 0,242 \text{ м} = 25 \text{ см}$$

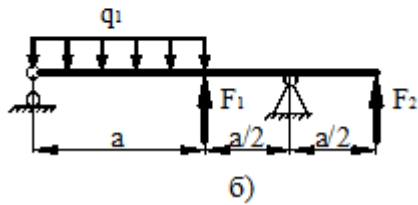
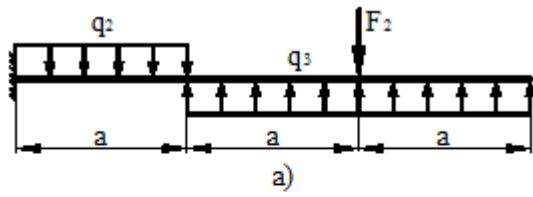
Таким образом, **подбираем сечение с диаметром 25 см**.

Таблица вариантов

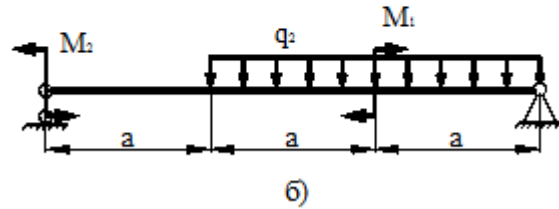
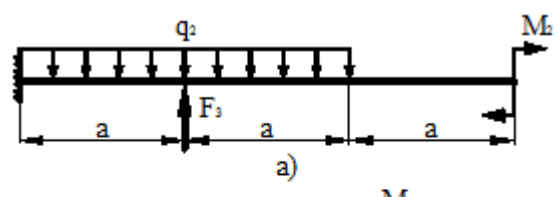
Номер строки	Схема по рис.2	a, м	q <sub>1</sub> =q <sub>3</sub> , кН/м	q <sub>2</sub> , кН/м	F <sub>1</sub> , кН	F <sub>2</sub> , кН	F <sub>3</sub> , кН	M <sub>1</sub> , кНм	M <sub>2</sub> , кНм	M <sub>3</sub> , кНм
01	1	2	5	30	10	35	10	10	35	10
02	2	0,8	10	25	15	30	20	15	30	20
03	3	1	15	20	20	25	30	20	25	30
04	4	1,2	20	15	25	20	40	25	20	40
05	5	1,4	25	10	30	15	10	30	15	10
06	6	1,6	30	5	35	10	20	35	10	20

07	7	1,8	5	30	40	5	30	40	5	30
08	8	2	15	35	15	30	20	15	30	20
09	9	2	20	25	20	25	30	20	25	30
10	10	0,8	25	20	25	20	40	25	20	40

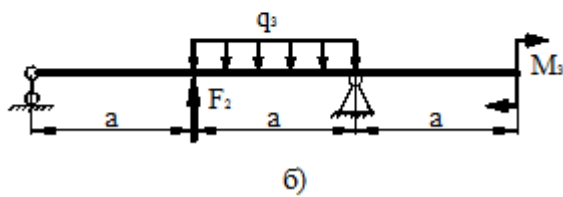
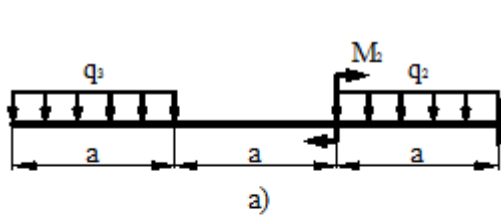
1 схема



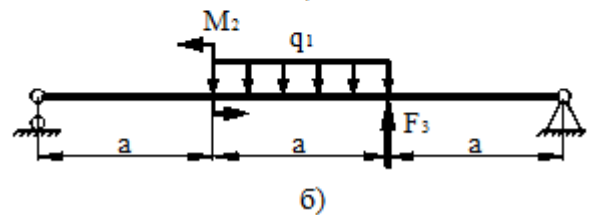
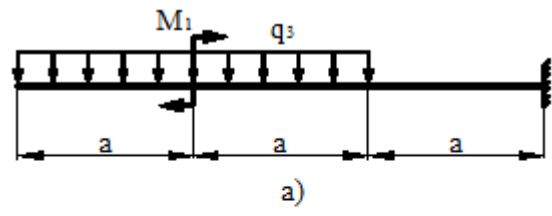
2 схема



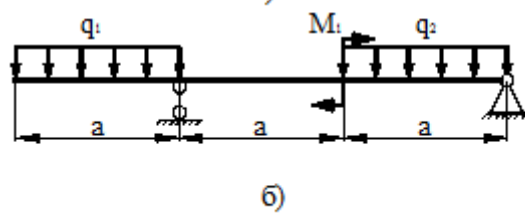
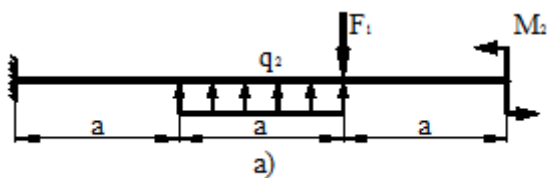
3 схема



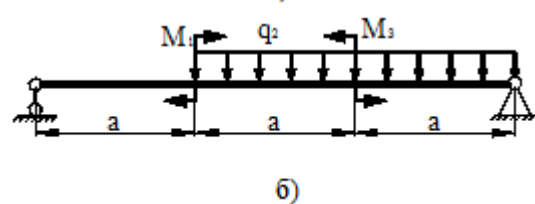
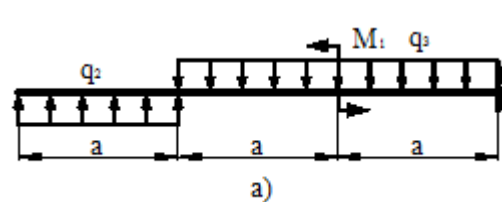
4 схема



5 схема

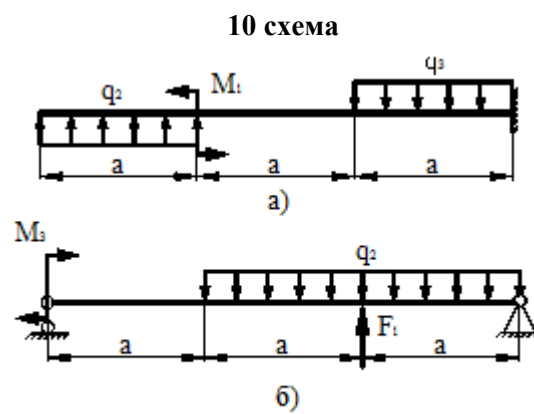
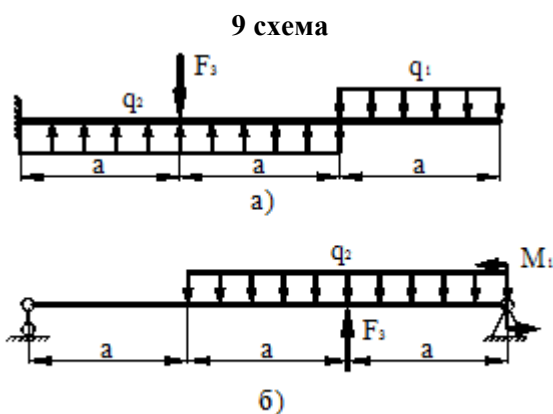
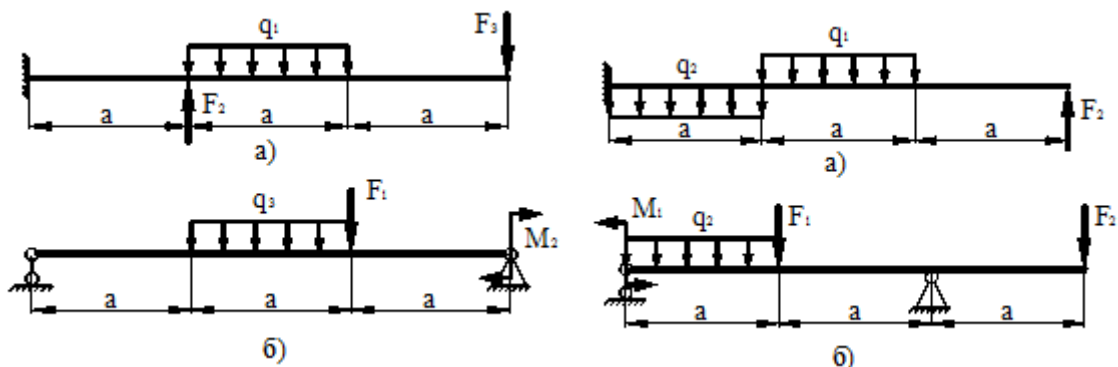


6 схема



7 схема

8 схема



**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

### Практическое занятие № 9.

**Тема:** Расчет на устойчивость сжатых стержней.

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Оборудование:** раздаточный материал

**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

**Задание:**

Расчет на устойчивость заключается в определении допускаемой сжимающей силы и в сравнении с ней силы действующей:

$$F \leq [F]; \quad [F] = \frac{F_{кр}}{[s_y]}; \quad F \leq \frac{F_{кр}}{[s_y]},$$

где  $F$  — действующая сжимающая сила;

$[F]$  — допускаемая сжимающая сила, обеспечивает некоторый запас устойчивости;

$F_{кр}$  — критическая сила;

$[s_y]$  — допускаемый коэффициент запаса устойчивости.

Обычно для сталей  $[s_y] = 1,8 - 3$ ; для чугуна  $[s_y] = 5$ ; для дерева  $[s_y] = 2,8$ .

Знать условие устойчивости сжатых стержней, формулы Эйлера для определения критической силы, эмпирические формулы для расчетов критического напряжения и критической силы.

Уметь выполнять проверочные расчеты на устойчивость сжатых стержней.

Порядок выполнения расчета на устойчивость

1. Получение сведений о материале стержня для определения предельной гибкости стержня расчетным путем или по таблице:

$$\lambda_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{\text{пц}}}}$$

2. Получение сведений о геометрических размерах поперечного сечения, длине и способах закрепления концов для определения категории стержня в зависимости от гибкости:

$$i_{\text{min}} = \sqrt{\frac{J_{\text{min}}}{A}},$$

где  $A$  — площадь сечения;  $J_{\text{min}}$  — минимальный момент инерции (из осевых);

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\text{min}}},$$

$\mu$  — коэффициент приведенной длины.

3. Выбор расчетных формул для определения критической силы и критического напряжения.

При  $\lambda_0 < \lambda < \lambda_{\text{пред}}$  — расчет по эмпирическим формулам.

При  $\lambda > \lambda_{\text{пред}}$  — расчет по формуле Эйлера.

4. Проверка и обеспечение устойчивости.

При расчете по формуле Эйлера условие устойчивости:

$$F \leq \frac{F_{\text{кр}}}{[s_y]}; \quad F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E J_{\text{min}}}{(\mu l)^2},$$

$F$  — действующая сжимающая сила;  $[s_y]$  — допускаемый коэффициент запаса устойчивости.

При расчете по формуле Ясинского

где  $a$ ,  $b$  — расчетные коэффициенты, зависящие от материала (величины коэффициентов приводятся в таблице 36.1)

$$F_{\text{кр}} = \sigma_{\text{кр}} A; \quad F \leq \frac{F_{\text{кр}}}{[s_y]}.$$

В случае невыполнения условий устойчивости необходимо увеличить площадь поперечного сечения.

Иногда необходимо определить запас устойчивости при заданном нагружении:

$$s_y = \frac{F_{\text{кр}}}{F}.$$

При проверке устойчивости сравнивают расчетный запас выносливости с допускаемым:

$$s_y \leq [s_y].$$

СХЕМЫ						
	2	1	0,7	0,5	2	1
	1	2	3	4	5	6

- μ

### Задача № 1 (пример решения)

 Рис. 37.4	<p>Проверить устойчивость стержня. Стержень длиной 1 м зашпелен одним концом, сечение — швеллер № 16, материал — Ст3, запас устойчивости трехкратный. Стержень нагружен сжимающей силой 82 кН (рис. 37.4).</p> <p><b>Решение:</b></p> <p>Изобразить расчетную схему с указанием размеров нагрузки.</p> <p>1. Определяем основные геометрические параметры сечения стержня по ГОСТ 8240-89. Швеллер № 16: площадь сечения 18,1 см<sup>2</sup>; минимальный осевой момент сечения <math>J_y = 63,3 \text{ см}^4</math>; минимальный радиус инерции сечения <math>i_y = 1,87 \text{ см}</math>.</p>
---------------	--

2. Определяем категорию стержня в зависимости от гибкости.

Предельная гибкость для материала Ст3  $\lambda_{\text{пред}} = 100$ .

Расчетная гибкость стержня при длине  $l = 1 \text{ м} = 1000 \text{ мм}$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 1000}{18,7} = 106,95.$$

Рассчитываемый стержень — стержень большой гибкости, расчет ведем по формуле Эйлера.

$$F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E J_{\text{min}}}{(\mu l)^2}; \quad F_{\text{кр}} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 63,3 \cdot 10^4}{(2 \cdot 1000)^2} = 312\,000 \text{ Н} = 312 \text{ кН}.$$

3. Допускаемая нагрузка на стержень

$$[F] = F_{\text{кр}} / [s_y].$$

$$[F_y] = \frac{312}{3} = 105,5 \text{ кН}.$$

4. Условие устойчивости

$$F \leq [F_y];$$

82 кН < 105,5 кН. Устойчивость стержня обеспечена.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l, м	4	3	4	5	6	5	3	4	5	6
Схема №	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
материал	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3
F, кН	75	80	81	70	86	90	75	73	82	80
сечение	Двута вр 40	Двугав р 30	Двугав р 30а	Швелле р №14	Двугав р № 33	Двугав р 36	Двугав р 55	Двугав р № 50	Двугав р 70	Швелл ер № 16

**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

## Практическое занятие № 10.

**Тема:** Подбор подшипников качения и скольжения

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Оборудование:** раздаточный материал

**Методические указания:** изучить теоретический материал

**Ход выполнения:** выполнить задания.

**Задание:**

- Расшифровка условного обозначения подшипников качения,
- определение области их применения,
- установление основных геометрических параметров и вычерчивание подшипников качения с указанием всех размеров,
- подбор подшипников качения и выполнение проверочного расчета на долговечность.

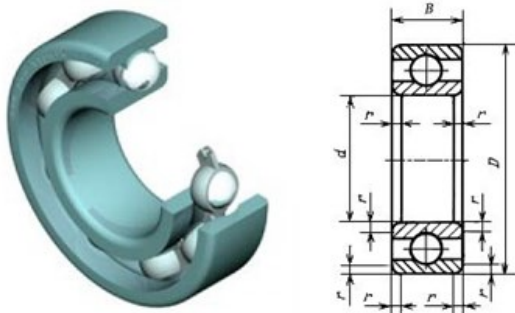


Рисунок 35.1 - Подшипник качения

Таблица 35.1

**Сверхлегкая серия диаметров 8, нормальная серия ширины 1 и широкая серия ширины 2**

Размеры, мм

Обозначение подшипников	$d$	$D$	$B$	$r$	Масса, кг =	Обозначение подшипников	$d$	$D$	$B$	$r$	Масса, кг =
1000083	3	7	2	0,3	0,0003	1000817	85	110	13	1,5	0,29
2000083	3	7	2,5	0,3	0,0004	1000818	90	115			0,30
1000084	4	9			0,0007	1000819*	95	120			0,32
1000085	5	11	3,0		0,0012	1000820	100	125			0,34
1000086	6	13	3,5		0,0020	1000821*	105	130			0,45
1000087	7	14			0,0022	1000822	110	140	16	0,60	
1000088	8	16	4,0	0,4	0,0030	1000824	120	150		0,65	
1000089	9	17			0,0034	1000826	130	165	18	0,93	
1000800	10	19	5,0		0,0055	1000828	140	175		20	1,08
1000801	12	21			0,007	1000830	150	190	1,43		
1000802	15	24			0,008	1000832	160	200	1,49		

Таблица 35.2-Определение долговечности роликовых подшипников  $L_h$  в часах по величине соотношения  $C/Q$

Долговечность $L_H, r$	Скорость вращения $n$ , об/мин													
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
100	1,60	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92
500	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36
1000	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82
1250	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38
1600	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98
2000	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62
2500	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3
3200	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0
4000	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8
5000	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7
6300	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6
8000	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6
10000	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6
12500	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7
16000	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9
20000	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2
25000	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6
32000	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	—
40000	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	—	—
50000	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	—	—	—
63000	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	—	—	—	—
80000	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	—	—	—	—	—
100000	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	—	—	—	—	—	—
200000	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Пример расчета .** Подобрать подшипник качения для вала редуктора с цапфой  $d=40$  мм. Проверить долговечность при частоте вращения  $n=1000$  об/мин; радиальная нагрузка  $F_r=2500$  Н, осевая нагрузка  $F_a=0$ .

**Решение:** в данных условиях подходит подшипник радиальный однорядный шариковый (см. таблицу 35.3). Проверим подшипник для посадочного диаметра  $d=40$  мм., начиная с легкой серии - № 208, у которого статическая грузоподъемность (см. каталог):

$C_0=17800$  Н;

динамическая грузоподъемность

$C=32000$  Н.

Таблица 35.3- Каталог

Обозначение	Размеры, мм			Грузоподъемность, Н		Масса, кг
	$d$	$D$	$B$	Динамическая $C$	Статическая $C_0$	
Легкая серия 200						
204	20	47	14	12700	6200	0,10
205	25	52	15	14000	6950	0,12
206	30	62	16	19500	10000	0,20
207	35	72	17	25500	13700	0,29
208	40	80	18	32000	17800	0,36
209	45	85	19	36400	18600	0,41
210	50	90	20	35100	19800	0,47
211	55	100	21	43600	25000	0,60

212	60	110	22	52000	31000	0,80
213	65	120	23	56000	34000	0,98
214	70	125	24	61800	37500	1,08
215	75	130	25	66300	41000	1,18
216	80	140	26	70200	45000	1,40

Примем по таблицам 35.4 и 35.5 –  $k_6 = 1,4$ ;  $k_T = 1,0$ .

Таблица 35.4- Значения коэффициента безопасности  $k_6$

Характер нагрузки	$k_6$	Примеры
Спокойная без толчков	1,0	Ролики ленточных транспортеров
Легкие толчки. Кратковременные перегрузки до 125%, от расчетной нагрузки	1,1 - 1,2	Прецизионные зубчатые передачи, блоки, легкие вентиляторы, воздуходувки
Умеренные толчки и вибрации. Кратковременные перегрузки до 150% от расчетной нагрузки	1,3 - 1,5	Редукторы всех конструкций
То же в условиях повышенной надежности	1,6 - 1,8	Центрифуги и сепараторы, энергетическое оборудование
Значительные толчки и вибрации. Кратковременные перегрузки до 200% от расчетной нагрузки	1,9 - 2,4	Валики среднесортных прокатных станов; дробилки, ковочные машины
С сильными ударами и кратковременными перегрузками, достигающими 300% от расчетной нагрузки	2,5 - 3,0	Тяжелые ковочные машины; валки крупносортных прокатных станов; лесопильные рамы

Таблица 35.5- – Значения температурного коэффициента  $k_T$

Рабочая температура подшипника, °C	до 100									
$k_T$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,25	1,35	1,40	1,60	2,00	

Так как  $F_a = 0$  и  $\frac{F_a}{C_o} = 0$ , то из таблицы 35.6, следует:  
 $X=1$ ,  $Y=0$ .

Таблица 35.6 – Коэффициенты  $X$  и  $Y$  для радиальных и радиально-упорных шариковых подшипников (по ГОСТ 18855-82)

Угол контакта $\beta$ , °	$\frac{F_a}{C_o}$	$\frac{iF_a}{C_o}$	Однорядные		Двухрядные		$e$	
			$X$	$Y$	$X$	$Y$		
	$\frac{F_a}{VF_r} > e$	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$					
	$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$		
	0,014						2,30	0,19
	0,028				2,30	1,99	1,99	0,22
	0,056				1,71	1,45	1,71	0,26
	0,110	-	0,56		1,31	1,15	1,45	0,30
	0,170				1,04	1,00	1,31	0,34
	0,280						1,15	0,38



	0,120 0,560							1,04 1,00	0,42 0,44
	-	0,014 0,028 0,056 0,085 0,110 0,170 0,280 0,420 0,560	0,56	2,30 1,99 1,71 0,55 1,45 1,31 1,15 1,04 1,00		2,78 2,40 2,07 1,87 1,75 1,56 1,39 1,26 1,21	0,78	3,74 3,23 2,78 2,52 2,36 2,13 1,78 1,69 1,630	0,23 0,26 0,30 0,34 0,36 0,40 0,45 0,50 0,52
	-	0,014 0,029 0,057 0,086 0,110 0,170 0,290 0,430 0,570	0,46	1,88 1,71 1,52 1,41 1,34 1,23 1,10 1,01 1,00		2,18 1,98 1,76 1,63 1,55 1,42 1,27 1,17 1,10	0,75	3,06 2,78 2,47 2,29 2,18 2,00 1,79 1,64 1,63	0,29 0,32 0,36 0,38 0,40 0,44 0,49 0,54 0,54
	-	0,014 0,029 0,057 0,086 0,110 0,170 0,290 0,430 0,570	0,45	1,81 1,62 1,46 1,34 1,22 1,13 1,04 1,01 1,00		2,08 1,84 1,69 1,52 1,39 1,30 1,20 1,16 1,16	0,74	2,94 2,63 2,37 2,18 1,98 1,84 1,69 1,64 1,62	0,30 0,34 0,37 0,41 0,45 0,48 0,52 0,54 0,54
	-	0,015 0,029 0,058 0,087 0,120 0,170 0,290 0,440 0,580	0,44	1,47 1,40 1,30 1,23 1,19 1,12 1,02 1,00 1,00		1,65 1,57 1,46 1,38 1,34 1,26 1,14 1,12 1,12	0,72	2,39 2,28 2,11 2,00 1,93 1,82 1,66 1,63 1,63	0,38 0,40 0,43 0,46 0,47 0,50 0,55 0,56 0,56
18,19,20 24,25,26 35,36	-	-	0,43 0,41 0,39 0,37 0,35	1,00 0,87 0,76 0,66 0,57		1,09 0,92 0,78 0,66 0,55	0,70 0,67 0,63 0,60 0,57	1,63 1,41 1,24 1,07 0,93	0,57 0,68 0,80 0,95 1,14
Подшипники сферические	4,40	$0,44ctg\beta$		$0,42ctg\beta$	0,65	$0,65ctg\beta$	$1,50tg\beta$		

Эквивалентная динамическая нагрузка:

$$P = (XVF_r + YF_a) k_B k_T = XVF_r k_B k_T = 1 \cdot 1 \cdot 2500 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 1,0 = 3500 \text{ (Н)}$$

Расчетный ресурс в миллионах оборотов:

$$L = (C/P)^3 = (32\ 000 / 3500)^3 = 2097 \text{ (млн.об.)}$$

Расчетная долговечность в часах:

$$Ln = (L \times 10^6 / 60 \times 1000) = (2097 \times 10^6 / 60 \times 1000) = 34\ 950 \text{ (час.)}$$

Так как долговечность оказалась больше минимальной нормы (10000 час.), проверим подшипник с особолегкой серии № 109, у которого

$$C_o = 12200 \text{ Н}; C = 21200 \text{ Н}$$

$$L = (C/P)^3 = (21200/3500)^3 = 216 \text{ (млн.об.)}$$

$$L_n = (L \times 10^6 / 60 \times 1000) = (216 \times 10^6 / 60 \times 1000) = 3600 \text{ (час.)}$$

что допустимо.

**Форма отчета:** Студент сдает практическое занятие преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения.

## 4 ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 4.1 Основные электронные издания:

О-1. Кузьмина, Н. А. Техническая механика: учебное пособие / Н. А. Кузьмина. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2020. — 205 с. — ISBN 978-5-222-28638-8. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/148821> (дата обращения: 18.01.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

О-2. Эрдеди, А.А. Техническая механика: учебное издание / А.А. Эрдеди, Н.А. Эрдеди. — Москва: Академия, 2023. — 528 с. (Специальности среднего профессионального образования). - URL: <https://academia-moscow.ru/reader/?id=710973/>. - Режим доступа: Электронная библиотека «Academia-library». - Текст: электронный.

### 4.2 Дополнительные источники:

Д-1. Аркуша, А.И. Руководство к решению задач по теоретической механике: учеб. пособие для средних проф. учеб. Заведений. — 4-е изд., испр. — М.: Высш.шк., 2000. — 336 с.: ил.

Д-2. Брадис, В.М. Четырехзначные математические таблицы: Для сред. шк. — 57-е изд. — М.: Просвещение, 1990. — 95 с.

Д-3. Олофинская, В.П. Техническая механика.: Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий: учебное пособие / В.П. Олофинская. — 3-е изд., испр. — М.: «ФОРУМ», 2012. — 352 с.: ил. — (Профессиональное образование).

Д-4. Сетков, В.И. Сборник задач по технической механике: учебное пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.И. Сетков. — 6-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 224 с.

**ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ И ДОПОЛНЕНИЙ, ВНЕСЕННЫХ В  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

<b>№ изменения, дата внесения, № страницы с изменением</b>	
<b>Было</b>	<b>Стало</b>
<b>Основание:</b>	
<b>Подпись лица, внесшего изменения</b>	