

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

РАССМОТРЕНО

на заседании ЦК
«Горных дисциплин»
«31» июнь 2022 г.
Протокол № 10
Председатель: Н.А. Жук

Утверждаю:

И.о. зам. директора по УР
О.В. Папанова
«15» июнь 2022 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения

практических работ студентов

по учебной дисциплине

ОП.05 ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

программы подготовки специалистов среднего звена

21.02.15 Открытые горные работы

(заочное отделение)

Разработал преподаватель:
Пилипченко Н. А.

2022г.

СОДЕРЖАНИЕ

	СТР.
1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	3
2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	8
3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	9
4. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	35
5. ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ И ДОПОЛНЕНИЙ, ВНЕСЕННЫХ В МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	36

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по выполнению практических работ по учебной дисциплине **Техническая механика** предназначены для студентов специальности 21.02.15 открытые горные работы, разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 21.02.15 открытые горные работы.

Методические указания являются частью учебно-методического комплекса по дисциплине **Техническая механика** и содержат задания, указания по выполнению практических графических работ.

Перед выполнением практической работы каждый студент обязан показать свою готовность к выполнению работы: выполнить тестовое задание, упражнение, ответить на вопросы. По окончании работы студент выполняет и оформляет практическую работу в соответствии с требованиями и защищает свою работу.

БАЗОВАЯ ЧАСТЬ

В результате освоения дисциплины студент должен **уметь**:

- определять напряжения в конструкционных элементах;
- определять передаточное отношение;
- проводить расчет и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения;
- проводить сборочно-разборочные работы в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц;
- производить расчеты на сжатие, срез и смятие;
- производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость;
- собирать конструкции из деталей по чертежам и схемам;
- читать кинематические схемы;

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

- виды движений и преобразующие движения механизмы;
- виды износа и деформаций деталей и узлов;
- виды передач; их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные -обозначения на схемах;

- кинематику механизмов, соединение деталей машин, механические передачи, виды и устройство передач;
- методику расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при -- различных видах деформации;
- методику расчета на сжатие, срез и смятие;
- назначение и классификацию подшипников;
- характер соединения основных сборочных единиц и деталей;
- основные типы смазочных устройств;
- типы, назначение, устройство редукторов;
- трение, его виды, роль трения в технике;
- устройство и назначение инструментов и контрольно-измерительных приборов, используемых при техническом обслуживании и ремонте оборудования;

ВАРИАТИВНАЯ ЧАСТЬ

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

- выбирать детали и узлы на основе анализа их свойств для конкретного применения;
- оформлять технологическую и конструкторскую документацию в соответствии с действующей нормативно-технической документацией;

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.

Цель практических работ – обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний; формирование умений применять полученные знания на практике, развитие общих компетенций, включающих аналитическую, проектировочную, конструктивную деятельность, формирование профессиональных компетенций, направленных на выработку

таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Методические рекомендации содержат такие разделы, как:

1. Теоретическая механика
2. Сопротивление материалов
3. Детали машин

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	

Требования к рабочему месту:

Реализация учебной дисциплины осуществляется в учебном кабинете Технической механики

Оборудование кабинета:

- рабочие места по количеству обучающихся;
- рабочее место преподавателя;
- комплект учебно-наглядных пособий по технической механике;
- объемные модели по статике сооружений, сопротивлению материалов и теоретической механике, деталям машин.
- образцы деталей

техническими средствами обучения:

- компьютер;

Общие требования к выполнению и оформлению практических работ

Ход работы:

- изучить теоретический материал;
- выполнить задания;
- описать ход выполнения заданий;
- ответить на контрольные вопросы.

Выполнение практических занятий должно быть оформлено в тетради для практических работ, и включать в себя:

- номер и тему занятия;
- заполненные таблицы;
- схемы и структуры;
- необходимые выводы;
- краткие ответы на контрольные вопросы.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» ставится, если студент выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий; в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ ошибок.

Оценка «хорошо» ставится, если студент выполнил требования к оценке "5", но допущены 2-3 недочета.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент выполнил работу не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы; в ходе проведения работы были допущены ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если студент выполнил работу не полностью или объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов;

2. Оценивание защиты контрольных вопросов.

Оценка «отлично» ставится в том случае, если студент

- правильно понимает сущность вопроса, дает точное определение и истолкование основных понятий;
- строит ответ по собственному плану, сопровождает ответ новыми примерами, умеет применить знания в новой ситуации;
- может установить связь между изучаемым и ранее изученным материалом из курса «Техническая механика», а также с материалом, усвоенным при изучении других дисциплин.

Оценка «хорошо» ставится, если

- ответ студента удовлетворяет основным требованиям к ответу на оценку 5, но дан без использования собственного плана, новых примеров, без применения знаний в новой ситуации, без использования связей с ранее изученным материалом и материалом, усвоенным при изучении других дисциплин;
- студент допустил одну ошибку или не более двух недочетов и может их исправить самостоятельно или с небольшой помощью преподавателя.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент

- правильно понимает сущность вопроса, но в ответе имеются отдельные пробелы в усвоении вопросов курса «Техническая механика», не препятствующие дальнейшему усвоению программного материала;
- допустил не более одной грубой ошибки и двух недочетов.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если студент

- не овладел основными знаниями и умениями в соответствии с требованиями программы и допустил больше ошибок и недочетов, чем необходимо для оценки 3.
- не может ответить ни на один из поставленных вопросов.

В соответствии с учебным планом программы подготовки специалистов среднего звена по специальности по специальности 21.02.15 открытые горные работы и рабочей программой на практические работы по дисциплине **Техническая механика** отводится 18 час.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

№ п/п	Название практической работы	Кол-во часов
1.	Практическая работа № 1. Определение усилий и подбор элементов плоской системы параллельных сил	2
2.	Практическая работа № 2. Определение скоростей и ускорений для поступательного движения.	2
3.	Практическая работа №3. Применение принципа Даламбера к решению задач на прямолинейное движение точки.	2
4.	Практическая работа № 4. Расчет прочности сжатых и растянутых элементов по предельному состоянию.	2
5.	Практическая работа № 5. Расчет разъемных и не разъемных соединений на срез и смятие.	2
6.	Практическая работа № 6. Определение главных моментов составных конструкций.	2
7.	Практическая работа № 7. Расчет валов и осей на кручение. Построение эпюр крутящих моментов.	2
8.	Практическая работа № 8. Построение эпюр продольных и нормальных напряжений при растяжении и сжатии.	2
9.	Практическая работа № 9. Расчет на контактную усталость и усталость при изгибе зубьев зубчатых колес.	2

3 СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практическая работа № 1

Определение усилий и подбор элементов плоской системы параллельных сил

Цель: знать определения момента пары сил и момента относительно точки, уметь определять знак момента.

Задание:

1. Повторить тему «Момент силы относительно точки. Пара сил».
2. Выпишите данные для Вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	F_1 кН	F_2 кН	F_3 кН	F_4 кН	M кНм	a_1 м	a_2 м	a_3 м	a_4 м	a_5 м	h_4 м
1	20	10	30	40	15	1	2	3	4	5	0,5
2	15	20	10	30	40	5	1	2	3	4	0,8
3	40	15	20	10	30	4	5	1	2	3	0,7
4	30	40	15	20	10	3	4	5	1	2	0,6
5	20	30	40	15	20	2	3	4	5	1	0,3
6	10	20	30	40	15	1	2	3	4	5	0,4
7	50	10	20	30	40	5	1	2	3	4	0,5
8	40	50	10	20	30	4	5	1	2	3	0,6
9	30	40	50	10	20	3	4	5	1	2	0,3
10	25	30	40	50	10	2	3	4	5	1	0,4
11	10	25	30	40	50	1	2	3	4	5	0,5
12	20	10	25	30	40	2	1	2	3	4	0,6
13	35	20	10	25	30	3	2	1	2	3	0,7
14	40	35	20	10	25	4	3	2	1	2	0,8
15	30	40	35	20	10	5	4	3	2	1	0,3
16	50	30	40	35	20	1	5	4	3	2	0,4
17	15	50	30	40	35	2	1	5	4	3	0,5
18	20	15	50	30	40	3	2	1	5	4	0,6
19	30	20	15	50	30	4	3	2	1	5	0,7
20	40	30	20	15	50	5	4	3	2	1	0,8
21	45	40	30	20	15	1	5	4	3	2	0,3
22	50	45	40	30	20	2	1	5	4	3	0,4
23	10	50	45	40	30	3	2	1	5	4	0,5
24	20	10	50	45	40	4	3	2	1	5	0,6
25	30	20	10	50	45	5	4	3	2	1	0,7

1. Рассмотрите пример решения.

$$F_1 = 10 \text{ кН}$$

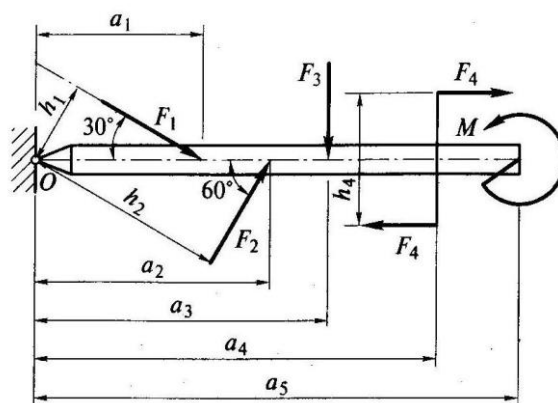
$$F_2 = 15 \text{ кН}$$

$$F_3 = 20 \text{ кН}$$

$$F_4 = 25 \text{ кН}$$

$$M = 15 \text{ кНм}$$

$$a_1 = 2 \text{ м}$$



$$a_2 = 3 \text{ м}$$

$$a_3 = 4 \text{ м}$$

$$a_4 = 5 \text{ м}$$

$$a_5 = 6 \text{ м}$$

$$h_4 = 0,2 \text{ м}$$

Находим плечи h_1 h_2 h_3

$$h_1 = a_1 \sin 30^\circ = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ м}$$

$$h_2 = a_2 \sin 60^\circ = 3 \cdot 0,866 = 2,598 \text{ м}$$

$$h_3 = a_3 = 4 \text{ м}$$

Находим сумму моментов относительно точки O:

$$\sum M_o = -F_1 h_1 + F_2 h_2 - F_3 h_3 - F_4 h_4 + M = -10 \cdot 1 + 15 \cdot 2,598 - 20 \cdot 4 - 25 \cdot 0,2 + 15 = -41,03 \text{ кНм.}$$

4. Перечертите рисунок.

5. Определите сумму моментов всех сил относительно точки O.

6. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы:

1. Напишите формулу для определения момента силы относительно какой-либо точки тела.

2. Как определяется знак момента силы относительно какой-либо точки?

3. В чем сходство и отличие вращательных воздействий, оказываемых на тело силой и парой сил?

Итог работы: Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

Практическая работа № 2

Определение скоростей и ускорений для поступательного движения.

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

Задание:

1. Повторить по учебнику тему «Кинематика точки».

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

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 :

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

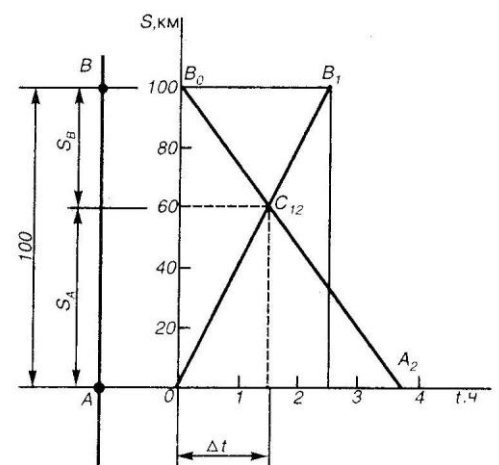
3. Время и место встречи велосипедистов наиболее просто определить графически. Расстояние между пунктами A и B , равное 100 км, изобразим на оси ординат отрезком в 50 мм (рис.202), т.е. в масштабе $\mu_s = 2$ км /мм (100 км = $\mu_s \cdot 50$ мм и ... $\mu_s = 100 \text{ км} / 50 \text{ мм} = 2 \text{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

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 $\mu_t = 4 \text{ ч} / 40 \text{ мм} = 0,1 \text{ ч} / \text{мм}$)

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 Δt , 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?

Итог работы: Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

Практическая работа № 3.

Применение принципа Даламбера к решению задач на прямолинейное движение точки

Цель: уметь составлять уравнения равновесия для решения задач на прямолинейное движение точки.

Задание:

1. Повторить по учебнику тему «Движение несвободной материальной точки».
2. Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	G, кН	F, кН	S, м	№ варианта	G, кН	F, кН	S, м	№ варианта	G, кН	F, кН	S, м
1	100	20	2	11	150	25	3	21	205	30	2
2	105	25	3	12	155	30	4	22	210	35	3
3	110	30	4	13	160	35	5	23	215	40	4
4	115	35	5	14	165	40	6	24	220	45	5
5	120	40	6	15	170	45	7	25	225	50	6
6	125	45	7	16	175	50	8	26	230	55	7
7	130	50	8	17	180	55	4	27	235	60	8
8	135	55	4	18	185	60	5	28	240	65	4
9	140	60	5	19	190	65	6	29	245	70	5
10	145	65	6	20	195	70	7	30	250	75	6

3. Рассмотрите пример решения.

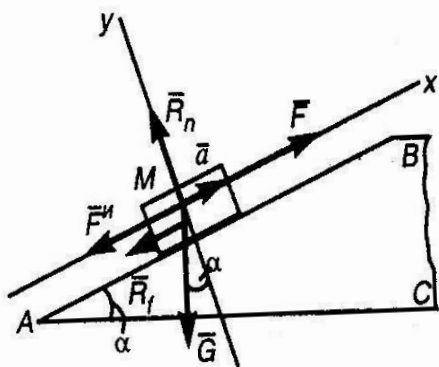
Пример.

По наклонной плоскости АВ длиной 4 м и углом подъема $\alpha = 15^\circ$ равноускоренно поднимают груз М весом $G = 200$ кН, постоянной силой $F = 65$ кН, направленной параллельно наклонной плоскости. Определить, сколько времени потребуется, чтобы переместить груз на расстояние АВ, если коэффициент трения при движении груза по наклонной плоскости $f = 0,05$.

Решение.

1. Изобразим тело М на наклонной плоскости с приложенными к нему силами G и F , а также силой трения R_f и нормальной реакцией R_n наклонной плоскости.

Находясь под действием этих сил, тело движется по наклонной плоскости с постоянным ускорением a .



2. Груз перемещается равноускоренно, без начальной скорости. Время его движения можно определить из уравнения движения

$S = a t^2 / 2$, откуда $t = \sqrt{2S/a}$, но предварительно необходимо определить ускорение a .

3. Так как груз движется с ускорением, то силы G и F , R_f и R_n , приложенные к нему, не образуют уравновешенной системы.

Приложим к грузу М силу инерции $F_{in} = ma = Ga / g$, направив ее в

сторону, противоположную ускорению a . Теперь система пяти сил $G, F, R_f, R_n, F_{и}$ является уравновешенной.

4. Выберем систему координат, как показано на рис, и спроецируем все силы на оси x и y . Тогда получим два уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = 0; F - G \sin \alpha - R_f - F_{и} = 0; (1)$$

$$\sum F_{ky} = 0; R_n - G \cos \alpha = 0. (2)$$

5. Из уравнения (1)

$$F_{и} = F - G \sin \alpha - R_f, \text{ но сила трения } R_f = f R_n.$$

Нормальную реакцию R_n найдем из уравнения (2)

$$R_n = G \cos \alpha.$$

Поэтому

$$F_{и} = F - G \sin \alpha - f G \cos \alpha = F - G (\sin \alpha + f \cos \alpha).$$

Подставим в это уравнение числовые значения

$$F_{и} = 65 - 200 (\sin 15^\circ + 0,05 \cos 15^\circ) = 65 - 61,4 = 3,6 \text{ кН}$$

6. Из выражения $F_{и} = G/g \cdot a$ найдем ускорение a :

$$a = (F_{и} \cdot g) / G = (3,6 \cdot 9,81) / 200 = 0,18 \text{ м / с}^2$$

7. Подставив значение ускорения, a в выражение $t = \sqrt{2S/a}$, найдем время перемещения груза M по всей длине наклонной плоскости:

$$t = \sqrt{2S/a} = \sqrt{2 \cdot 4 / 0,18} = 6,7 \text{ с.}$$

4. Решите свой вариант.

5. Ответьте на вопросы.

6. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы:

1. Что изучает динамика?
2. Какая система отсчета называется инерциальной?
3. В чем состоит принцип инерции?
4. В чем заключается основной закон динамики?
5. Чему равно значение силы тяжести тела?

Итог работы: Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

Практическая работа № 4

Расчет прочности сжатых и растянутых элементов по предельному состоянию

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

Указания к выполнению работы:

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

3. Рассмотрите пример решения.

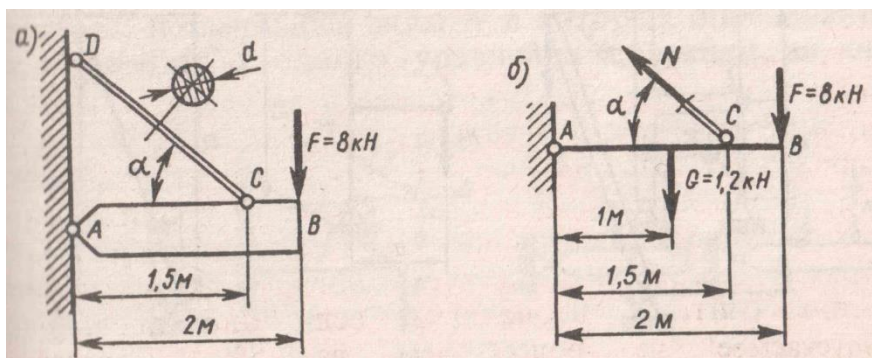
Пример.

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; $\alpha = 45^\circ$, $[\sigma] = 150$ Н/мм².

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?

Итог работы: Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

Практическая работа № 5.

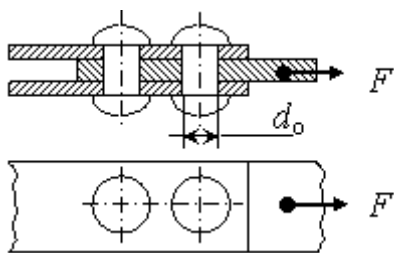
Расчет разъемных и не разъемных соединений на срез и смятие

Цель: обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний; научиться решать практические задачи на тему срез и смятие.

Задание:

Расчет неразъемных соединений.

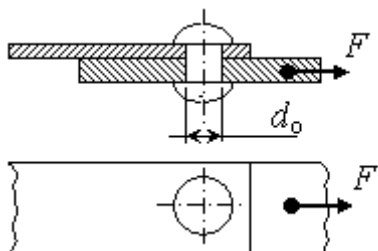
Задание 1



Определить минимальный диаметр заклепки d_0 из расчета на срез и наименьшую толщину соединяемых пластин δ из расчета на смятие для соединения, показанного на рисунке, если на него действует сила F .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина $F, кН F, кН$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

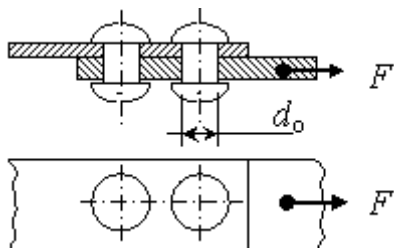
Задание 2



Определить допускаемую силу F из расчета на срез и наименьшую толщину соединяемых пластин δ из расчета на смятие для соединения, показанного на рисунке, если диаметр заклепки d_0 .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина $d_0, мм$	12	10	8	6	5	4	3	2,5	2	1,5

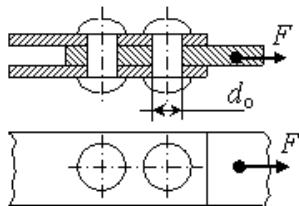
Задание 3



Определить минимальный диаметр заклепки d_0 из расчета на срез и наименьшую толщину соединяемых пластин δ из расчета на смятие для соединения, показанного на рисунке, если на него действует сила F .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина F , кН	5,0	4,75	4,5	4,25	4,0	3,75	3,5	3,25	3,0	2,75

Задание 4



Определить допускаемую силу F из расчета на срез и наименьшую толщину соединяемых пластин δ из расчета на смятие для соединения, показанного на рисунке, если диаметр заклепки d_o .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина d_o , мм	4	3	2,5	2	1,5	12	10	8	6	5

Расчет разъемных соединений

Пример 5. Определить необходимое количество болтов, обеспечивающих прочность соединения на срез и смятие, если общая толщина соединяемых деталей $h=10$ мм, приложенная нагрузка $F=100$ кН, допускаемые напряжения $[\sigma_{ср}] = 120$ МПа; $[\tau_{ср}] = 25$ МПа.

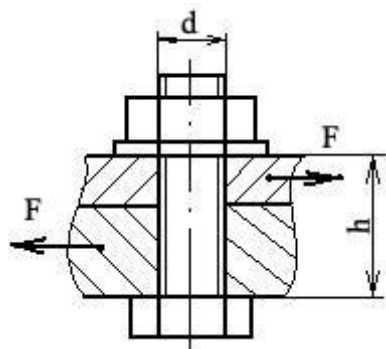


Рисунок 10.1

Решение:

1. Конструктивно, в соответствии с толщиной соединяемых деталей выбираем диаметр болта из справочной таблицы. Так как толщина соединяемых деталей по условию задачи 10 мм, из таблицы подберем стандартный болт М10.

2. Условие прочности на срез:

$$\tau = \frac{Q}{A_{ср}} \leq [\tau_{ср}]$$

Из условия прочности на срез определить $A_{ср}$:

$$A_{ср} = \frac{Q}{[\sigma_{ср}]}$$

Так как $Q=F=100\text{kH}$, то

$$A_{ср} = \frac{100 \cdot 10^3}{25} = 4000 \text{ мм}^2$$

3. Определить площадь среза одного болта:

- для болта М10 по таблице определить внутренний диаметр резьбы $d_{внут.}=8,876$ мм.

- определить площадь сечения болта по внутреннему диаметру

$$A_{ср}^1 = \frac{\pi d_{ср}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 8,876^2}{4} = 61,84 \text{ мм}^2$$

4. Определить необходимое количество болтов, обеспечивающих прочность соединения на срез:

$$\frac{A_{ср}}{A_{ср}^1} = \frac{4000}{61,84} = 64,68$$

, следовательно для обеспечения прочности на срез потребуется 65 болтов М10.

5. Из условия прочности на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}]$$

определить $A_{см}$:

$$A_{см} = \frac{F}{[\sigma_{см}]} = \frac{100 \cdot 10^3}{120} = 833,33 \text{ мм}^2$$

6. Определить площадь смятия одного болта:

$$A_{см}^1 = d_{внут.} \cdot h = 8,876 \cdot 10 = 88,76 \text{ мм}^2$$

7. Определить количество болтов, обеспечивающих прочность соединения на смятие:

$$\frac{A_{см}}{A_{см}^1} = \frac{833,33}{88,76} = 9,39$$

, следовательно для обеспечения прочности на смятие потребуется 10 болтов М10.

8. Для обеспечения прочности соединения на срез и смятие потребуется 65 болтов М10. (Следует выбрать наибольшее значение из двух вычисленных).

Варианты заданий:

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H, мм,	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
F,кН	50	100	60	200	70	30	150	90	110	120

$[\sigma_{см}]$, МПа	240	250	200	210	260	280	290	300	310	320
$[\tau_{ср}]$, МПа	100	150	120	130	140	150	155	145	120	135

Итог работы: Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

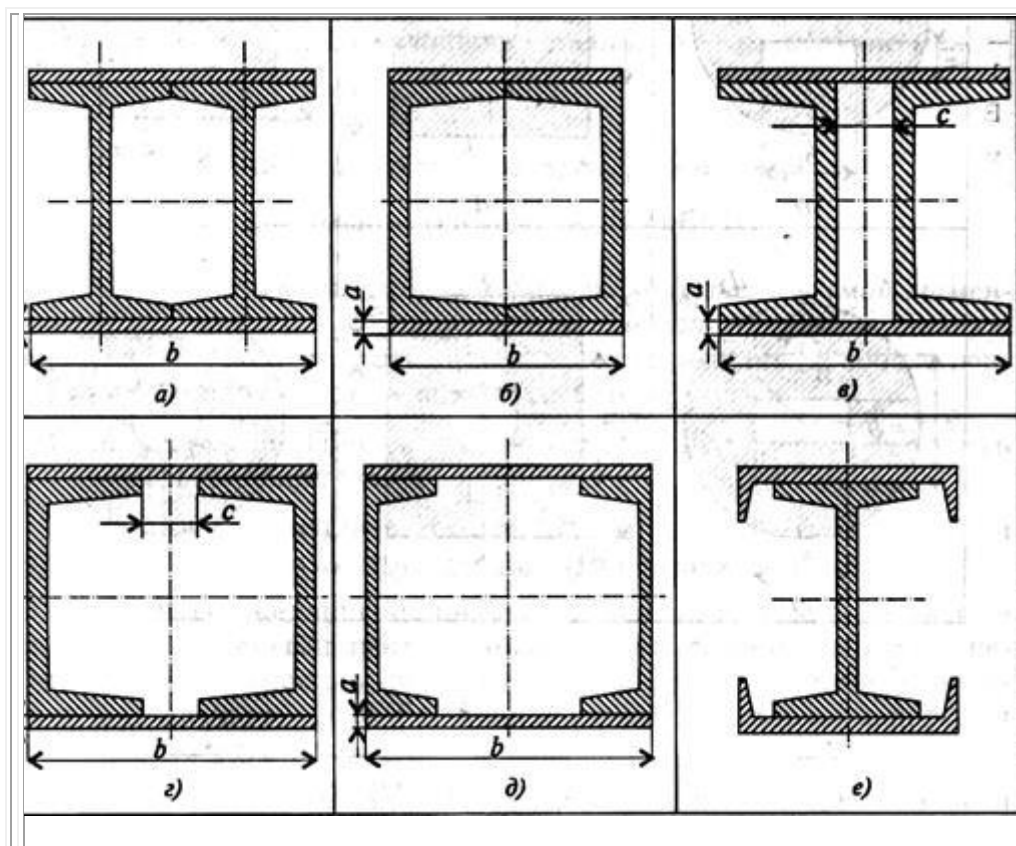
Практическая работа № 6

Определение главных моментов составных конструкций.

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

Задание:

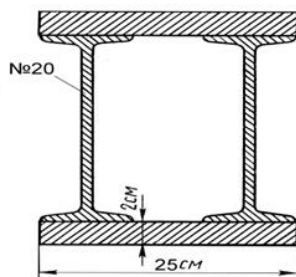
Вычислить главные центральные моменты инерции составных сечений. При расчете воспользоваться данными таблицы, выбрав необходимые величины. Геометрические характеристики стали горячекатаной выбрать по ГОСТ 8239-89 (Балки двутавровые) и ГОСТ 8240-89 (Швеллеры)



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ швеллера	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
№ двутавра	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
a, мм	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16
c, мм	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30

Пример выполнения

Вычислить главные центральные моменты инерции плоского сечения.



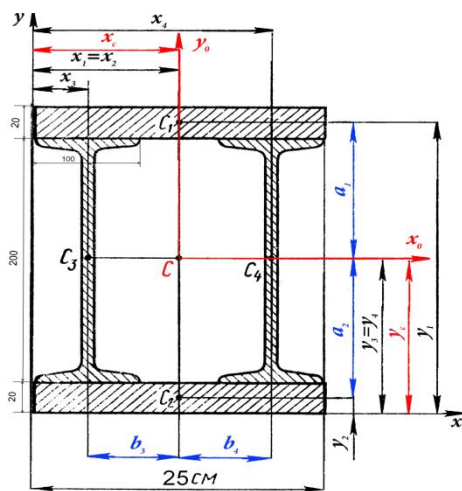
Решение

1. Чертим чертеж в масштабе 1:2
2. Проводим оси координат и отмечаем точку O
3. Разбиваем сложную фигуру на простые
 - I – прямоугольник
 - II - прямоугольник
 - III- двутавр
 - IV- двутавр
4. Вычислением и из таблиц (см. приложение) находим

- для прямоугольника $A_1 = A_2 = 25 \cdot 2 = 50 \text{ см}^2$

- для двутавра площадь $A_3 = A_4 = 26,8 \text{ см}^2$

($h = 200 \text{ мм}, b = 100 \text{ мм}, d = 5,2 \text{ мм}, t = 8,4 \text{ мм}, I_x = 1840 \text{ см}^4, I_y = 115 \text{ см}^4$)



Площадь всей фигуры

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 50 \cdot 2 + 26,8 \cdot 2 = 153,6 \text{ см}^2$$

5. Отмечаем положение центра тяжести и координаты каждой фигуры

C_1	C_2
$x_1 = 25/2 = 12,5 \text{ см}$	$x_2 = 25/2 = 12,5 \text{ см}$
$y_1 = 2 + 20 + 2/2 = 23 \text{ см}$	$y_2 = 2/2 = 1 \text{ см}$
C_3	C_4
$x_3 = \frac{10}{2} = 5 \text{ см}$	$x_4 = 25 - 5 = 20 \text{ см}$
$y_3 = 20/2 + 2 = 12 \text{ см}$	$y_4 = 20/2 + 2 = 12 \text{ см}$

6. Статический момент относительно оси

$$S_x = \sum Ay = A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3 + A_4 \cdot y_4$$

$$= 50 \cdot 23 + 50 \cdot 1 + 26,8 \cdot 12 + 26,8 \cdot 12 = 1843,2 \text{ см}^4$$

$$S_y = \sum Ax = A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3 + A_4 \cdot x_4$$

$$= 50 \cdot 12,5 + 50 \cdot 12,5 + 26,8 \cdot 5 + 26,8 \cdot 20 = 1920 \text{ см}^4$$

7. Координата точки C

$$x_c = \frac{S_y}{A} = \frac{1920}{153,6} = 12,5 \text{ см}$$

$$y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{1843,2}{153,6} = 12 \text{ см}$$

8. На чертеже отмечаем положение точки С (12,5; 12) и через нее проводим центральные (главные) оси x_0 и y_0

9. Отмечаем на чертеже и вычисляем расстояния от центра тяжести каждой фигуры до центральной оси x_0 и y_0

$a_1 = y_1 - y_c = 23 - 12 = 11 \text{ см}$	$b_1 = 0$
$a_2 = y_c - y_2 = 12 - 1 = 11 \text{ см}$	$b_2 = 0$
$a_3 = 0$	$b_3 = x_c - x_3 = 12,5 - 5 = 7,5 \text{ см}$
$a_4 = 0$	$b_4 = x_4 - x_c = 20 - 12,5 = 7,5 \text{ см}$

10. Осевой момент инерции для каждой фигуры

$$I_{x1} = I_{x2} = \frac{bh^3}{12} = \frac{25 \cdot 2^3}{12} = 16,6 \text{ см}^4$$

$$I_{y1} = I_{y2} = \frac{hb^3}{12} = \frac{2 \cdot 25^3}{12} = 2604,16 \text{ см}^4$$

$$I_{x3} = I_{x4} = 1840 \text{ см}^4$$

$$I_{y3} = I_{y4} = 115 \text{ см}^4$$

11. Осевой момент инерции относительно главных осей

$$A) \quad I_{x0} = I_{x01} + I_{x02} + I_{x03} + I_{x04}$$

$$I_{x01} = I_{x1} + a_1^2 \cdot A_1 = 16,6 + 11^2 \cdot 50 = 6066,6 \text{ см}^4$$

$$I_{x02} = I_{x2} + a_2^2 \cdot A_2 = 16,6 + 11^2 \cdot 50 = 6066,6 \text{ см}^4$$

$$I_{x03} = I_{x3} + a_3^2 \cdot A_3 = 1840 + 0^2 \cdot 26,8 = 1840 \text{ см}^4$$

$$I_{x04} = I_{x4} + a_4^2 \cdot A_4 = 1840 + 0^2 \cdot 26,8 = 1840 \text{ см}^4$$

$$I_{x0} = 6066,6 + 6066,6 + 1840 + 1840 = 15813,2 \text{ см}^4$$

$$B) \quad I_{y0} = I_{y01} + I_{y02} + I_{y03} + I_{y04}$$

$$I_{y01} = I_{y1} + b_1^2 \cdot A_1 = 2604,16 + 0^2 \cdot 50 = 2604,16 \text{ см}^4$$

$$I_{y02} = I_{y2} + b_2^2 \cdot A_2 = 2604,16 + 0^2 \cdot 50 = 2604,16 \text{ см}^4$$

$$I_{y03} = I_{y3} + b_3^2 \cdot A_3 = 115 + 7,5^2 \cdot 26,8 = 1622,5 \text{ см}^4$$

$$I_{y04} = I_{y4} + b_4^2 \cdot A_4 = 115 + 7,5^2 \cdot 26,8 = 1622,5 \text{ см}^4$$

$$I_{y0} = 2604,16 + 2604,16 + 1622,5 + 1622,5 = 8453,32 \text{ см}^4$$

Контрольные вопросы.

1. Что такое статический момент сечения?

Как определяется статический момент сечения относительно нейтральной оси?

2. Чему равен статический момент сечения относительно центральной оси?

3. Что такое осевой момент инерции сечения и в каких единицах он измеряется?

4. Какова зависимость между осевыми моментами инерции относительно параллельных осей?
5. Какие оси, проведенные в плоскости сечения, называются главными? главными центральными?
6. Как определяются осевые моменты инерции сложных составных сечений?

Итог работы: Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

Практическая работа № 7.

Расчет валов и осей на кручение. Построение эпюр крутящих моментов

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

Задание: Для стального вала (рис. 13) построить эпюру крутящих моментов; 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 $[\tau_{кр}] = 30 \text{ МПа}$, модуль сдвига $G = 0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

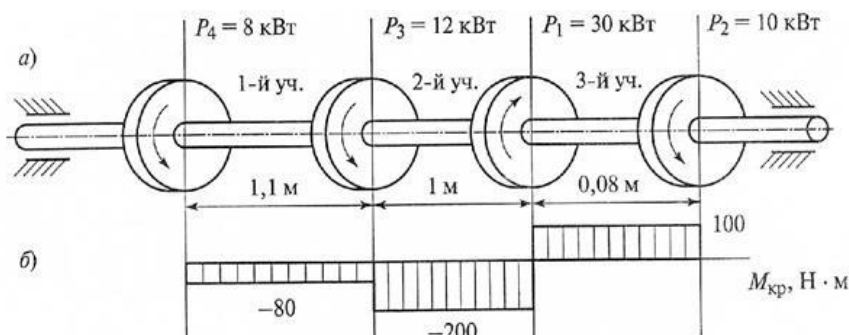


Рис. 3

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:

$$M_{\text{кр}1} = -M_4 = -80 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{кр}2} = -M_4 - M_3 = -80 - 120 = -200 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{кр}3} = -M_4 - M_3 + M_1 = -80 - 120 + 300 = 100 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

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

4. Из условия прочности на кручение

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

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

Определяем диаметр вала на каждом участке по формуле

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

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

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

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

5. Определяем угол закручивания вала на каждом участке по формуле

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

где J_p - полярный момент инерции сечения.

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

Угол закручивания

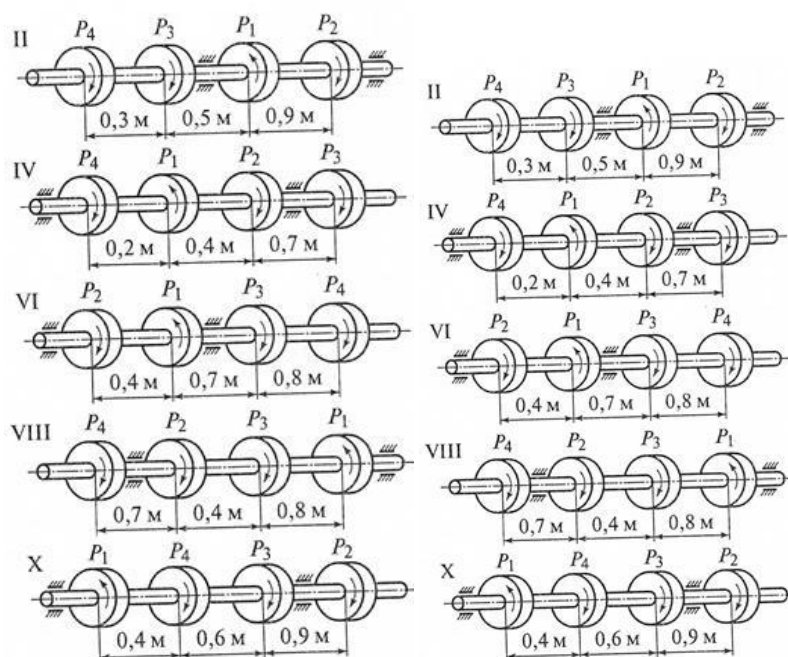
$$\varphi = \frac{M_{\text{сп}1} l_1 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1d_1^4 G} = \frac{-80 \cdot 10^3 \cdot 1,1 \cdot 10^3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 25^4 \cdot 8 \cdot 10^4} = -0,16^\circ$$

$$\varphi = \frac{M_{\text{сп}2} l_2 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1d_2^4 G} = \frac{-200 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 10^3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 35^4 \cdot 8 \cdot 10^4} = -0,38^\circ$$

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

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?

Итог работы: Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

Практическая работа № 8

Построение эпюр продольных и нормальных напряжений при растяжении и сжатии.

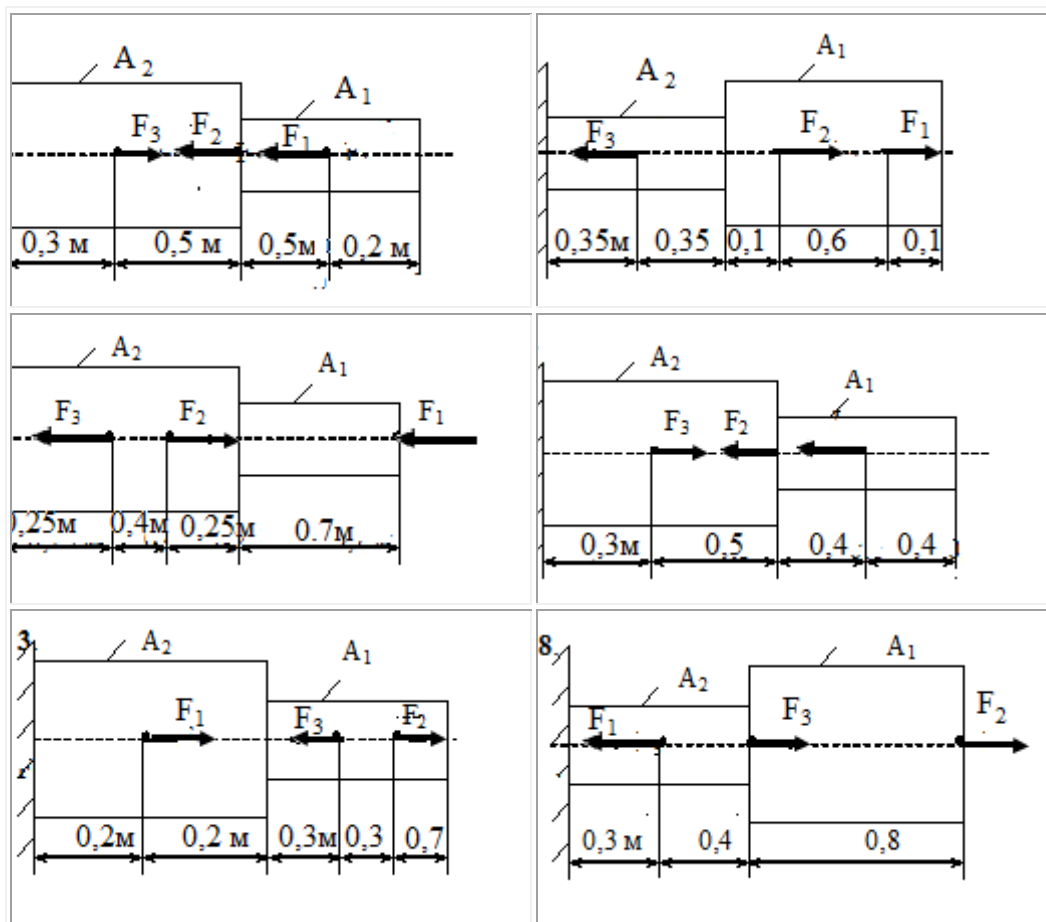
Цель: обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

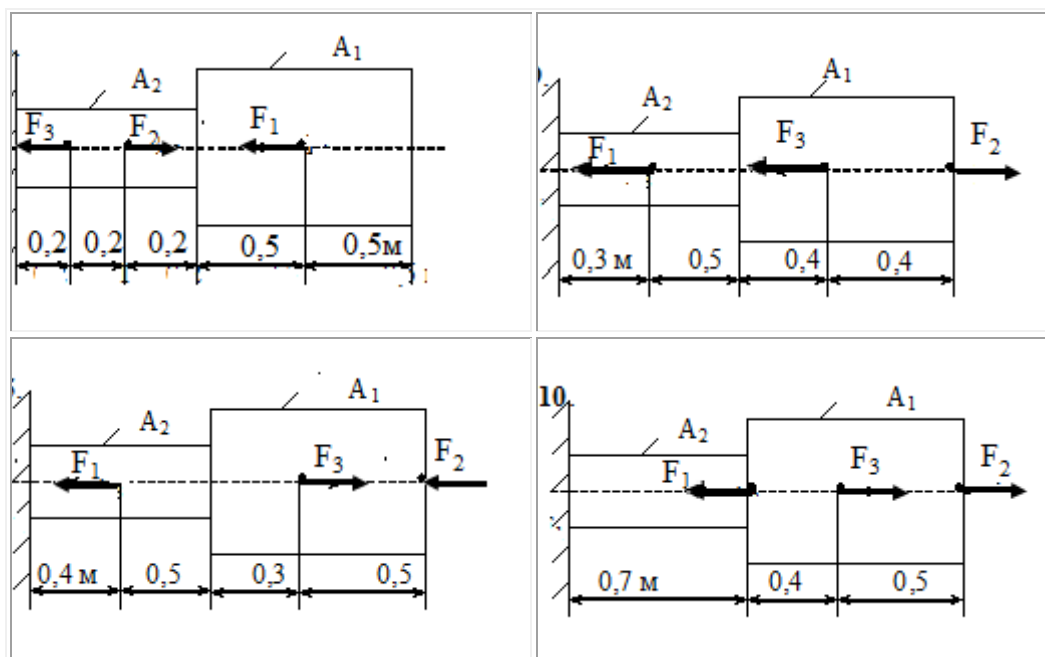
Задание: Для заданного ступенчатого бруса построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определить удлинение (укорочение) бруса, выполнить проверочный расчет по прочности.

Стальной двухступенчатый брус, длины ступеней которого указаны на рис.1 (схемы 1-10), нагружен силами F_1 , F_2 и F_3 . Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Определить перемещение свободного конца бруса, приняв $E=210^5 \text{ МПа}$. Числовые значения сил F_1 , F_2 и

F_3 , площади поперечных сечений ступеней A_1 и A_2 для своего варианта взять из таблицы.

Вариант	F_1 , кН	F_2 , кН	A_1 , см ²	A_2 , см ²
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





Итог работы: Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

Практическая работа № 9.

Расчет на контактную усталость и усталость при изгибе зубьев зубчатых колес

Цель: Освоить методику расчёта на контактную прочность и изгиб передач.

- Научиться определять геометрические параметры передачи.
- Научиться определять расчётные контактные напряжения и расчётные напряжения на выносливость при изгибе.

Задание. Выбрать материал, назначить термическую обработку и определить допустимые напряжения на контактную и изгибную прочность для пяти вариантов термической обработки.

Теоретическое обоснование

В зависимости от вида изделия, условий его эксплуатации и требований к габаритным размерам выбирают необходимую твердость колес и материалы для их изготовления. Для силовых передач чаще всего применяют стали. Передачи со стальными зубчатыми колесами имеют минимальную массу и габариты, причем чем меньше габариты, тем выше твердость рабочих поверхностей зубьев, которая, в свою очередь, зависит, как от марки стали, так и от вида термической обработки.

На практике в основном применяют следующие варианты термической обработки (т.о.):

1. Т.о. колеса- улучшение, твердость 235... 262 НВ;

т.о. шестерни- улучшение, твердость 269...302 НВ.

Марки сталей одинаковы для колеса и шестерни: 45, 40Х, 40ХН, 35ХМ и др. Для прямозубых колес твердость шестерни должна быть на 30-50 единиц Бринелля больше, чем твердость колеса. Для косозубых колес эта разность должна быть по возможности наибольшей. Зубья колес из улучшаемых сталей хорошо прирабатываются и не подвержены хрупкому разрушению, но имеют ограниченную нагрузочную способность. Применяют в слабонагруженных и средненагруженных передачах. Область применения улучшенных зубчатых колес сокращается.

2. Т.о. колеса- улучшение, твердость 269...302 НВ;

т.о. шестерни - улучшение и закалка ТВЧ, твердость поверхности в зависимости от марки стали 45...53 HRC. Твердость сердцевины зуба соответствует термообработке улучшение. Марки сталей одинаковы для колеса и шестерни: 40Х, 40ХН, 35ХМ и др.

3. Т.о. колеса и шестерни одинаковая - улучшение и закалка ТВЧ,

твердость поверхности в зависимости от марки стали: 45...53 HRC. Марки сталей одинаковы для колеса и шестерни: 40Х, 40ХН, 35ХМ и др. Закалённые колёса не прирабатываются, поэтому разность твёрдости шестерни и колеса не нужна.

4. Т.о. колеса - улучшение и закалка ТВЧ, твердость поверхности в зависимости от марки стали 45...53 HRC;

т.о. шестерни - улучшение, цементация и закалка, твердость поверхности 56...63 HRC. Материал шестерни - стали марок 20Х, 20ХН2М, 18ГТ, 12ХНЗА и др.

5. Т.о. колеса и шестерни одинаковая - улучшение, цементация и закалка, твердость поверхности 56...63 HRC. Цементация (поверхностное насыщение углеродом) с последующей закалкой наряду с большой твердостью поверхностных слоев обеспечивает и высокую прочность зубьев на изгиб. Марки сталей одинаковы для колеса и шестерни: 20Х, 20ХН2М, 18ХГТ, 12ХНЗА, 25ХГМ и др.

Кроме цементации применяют также нитроцементацию (твердость поверхности 56...63 HRC, стали марок 25ХГМ, 30ХГТ) и азотирование (твердость поверхности 58...67 HRC, стали марок 38Х2МЮА, 40ХНМА).

При поверхностной термической или химико-термической обработке зубьев механические характеристики сердцевины зуба определяет предшествующая термическая обработка (улучшение).

Несущая способность зубчатых передач по контактной прочности тем выше, чем выше поверхностная твердость зубьев. Поэтому целесообразно применение поверхностного термического или химико-термического упрочнения. Эти виды упрочнения позволяют в несколько раз повысить нагрузочную способность передачи по сравнению с улучшаемыми сталями. Например, допускаемые контактные напряжения $[\sigma_H]$ зубчатых колес, подвергнутых цементации, два раза превышают значения $[\sigma_H]$ колес, подвергнутых термическому улучшению, что позволяет уменьшить массу в четыре раза.

Однако при назначении твердости рабочих поверхностей зубьев следует иметь в виду, что большей твердости соответствует более сложная технология изготовления зубчатых колес и малые размеры передачи (что может привести к трудностям при конструктивной разработке узла).

Допускаемые контактные напряжения $[\sigma_{H1}]$ для шестерни и $[\sigma_{H2}]$ для колеса определяют по общей зависимости (но с подстановкой соответствующих параметров для шестерни и колеса). При выборе допускаемых контактных напряжений необходимо учитывать влияние на контактную прочность долговечности (ресурса работы), шероховатости сопрягаемых поверхностей зубьев и окружной скорости.

При проектном расчете:

$$[\sigma_H] = \sigma_{H\text{limb}} \times K_{HL} / [S_H],$$

где $\sigma_{H\text{limb}}$ - предел контактной выносливости при базовом числе циклов нагружения (определяется по таблице 18.1 в зависимости от термической обработки);

Таблица 18.1 - Предел контактной выносливости

Способ обработки зубьев зубьев	Средняя твердость поверхности зубьев	Сталь	$\sigma_{H\text{limb}}$, МПа
Нормализация или	HB<350	Углеродистая или	2HB+70

улучшение		легированная	
Объемная закалка	HRC38...50	18HRC+150	
Поверхностная закалка	HRC40...50	17 HRC+200	
Цементация и нитроцементация	HRC>56	легированная	23HRC
Азотирование	HV 550-750	легированная	

N_{ho} - базовое число циклов нагружения;

N_{he} - эквивалентное число циклов нагружения.

При $HV < 200$ $N_{HO} = 10^7$.

При $HV 200 \dots 500$ N_{HO} ↑ по линейному закону от 10^7 до 6×10^7 .

K_{hl} - коэффициент долговечности.

Если число циклов нагружения каждого зуба колеса больше базового, то $K_{hl} = 1$ (обычно для курсовых проектов).

В других условиях, если $N_{HE} < N_{HO}$, то $K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}}$.

Если при расчете колес из нормализованной стали $K_{HL} > 2,6$, то принимают $K_{HL} = 2,6$.

Для колёс из закаленной стали $K_{HL} \leq 1,8$.

$[S_H]$ - коэффициент безопасности.

$[S_H] = 1,2 \dots 1,3$ при поверхностном упрочнении;

$[S_H] = 1,1 \dots 1,2$ для колёс из нормализованной и улучшенной стали, при объёмной закалке.

Для прямозубой передачи

$$[\sigma_H] = [\sigma_{Hmin}].$$

Для косозубых и шевронных колес

$$[\sigma_H] = 0,45 ([\sigma_{H1}] + [\sigma_{H2}]).$$

Затем проверяется выполнение условия

$$[\sigma_H] \leq 1,23 [\sigma_{Hmin}].$$

Если это неравенство не выполняется, то принимают

$$[\sigma_H] = 1,23 [\sigma_{Hmin}].$$

ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗГИБА

Допускаемые напряжения изгиба определяются отдельно для шестерни и колеса по формуле

$$[\sigma_F] = \sigma_{Flimb} [S_F],$$

где σ_{Flimb} - значение предела выносливости при отнулевом цикле изгиба, зависит от термической обработки, определяется по табл. 18.2.

Таблица 18.2. -Предел выносливости при изгибе

ТО (ХТО)	σ_{Flimb} , МПа	$[S_F]'$
Нормализация, улучшение	1,8HB	1,75
Объемная закалка	500-550	1,8
Поверхностная закалка		1,75
Цементация		1,55
Азотирование		1,75

Коэффициент безопасности $[S_F]=[S_F]' \times [S_F]''$

$[S_F]'$ - учитывает нестабильность свойств материала (таблица 18.2)

$[S_F]''$ - учитывает способ получения заготовок:

для поковок и штамповок $[S_F]''=1$;

для проката $[S_F]''=1,25$;

для литья $[S_F]''=1,3$.

Для реверсируемых передач $[\sigma_F]$ снижают на 25%.

Твёрдость материала выбирается в зависимости от марки стали и термической обработки по табл. 18.3.

Таблица 18.3.-Твёрдость материала

Марка стали	Размер сечения s, мм, не более	Твердость поверхности	Термообработка
		192...228HB	Улучшение
		170...217HB 192...240HB 241...285HB	Нормализация Улучшение «
		179...228HB 228...255HB	Нормализация Улучшение
40X		230...260HB 260...280 HB 50...59HRC	« « Азотирование аа Азотирование
45X	100 ...300 300 ...500	230...280 HB 163...269 HB 163...269 HB 230...300 HB	Улучшение « « «
30XГС		250...260 HB	Улучшение
40ХН	130...300	230 - 300 HB \geq 241HB 48...54HRC	« « Закалка Закалка
35ХМ		241 HB 269 HB 45...53HRC	Улучшение « Закалка
40ХНМА		\geq 302HB \geq 217HB	Улучшение «
35ХГСА		235 HB 270 HB 310HB 46...53HRC	« « « Закалка

20X		56...63HRC	Цементация
12ХН3А		56...63HRC	«
25ХГТ	-	58...63HRC	«
38ХМЮА	-	57...67HRC	Азотирование

Таблица 18.4 -Варианты заданий для практической работы

Номер варианта	улучшение	закалка	цементация	азотирование	число циклов нагружения	тип передачи
1	40ХН	40ХН		40Х	2×10^5	реверсируемая
2	35ХМ	35ХМ	20Х		3×10^5	реверсируемая
3	35ХГСА	35ХГСА	12ХН3А		4×10^5	реверсируемая
4	40ХН	40ХН	25ХГТ		5×10^5	реверсируемая
5	35ХМ	35ХМ		38ХМЮА	6×10^5	не реверсируемая
6	35ХГСА	35ХГСА	20Х		7×10^5	не реверсируемая
7	40ХН	40ХН	20Х		8×10^5	не реверсируемая
8	35ХГСА	35ХГСА		40Х	9×10^5	не реверсируемая
9	40ХН	40ХН	12ХН3А		2×10^5	реверсируемая
10	35ХМ	35ХМ	12ХН3А		3×10^5	реверсируемая

Примечание. При расчетах практической работы, необходимо учесть, что в вариантах 1...5 заготовка выполнена штамповкой, в вариантах 6...10 - прокаткой.

Итог работы: Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

4 ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Основные:

О-1. Кузьмина, Н. А. Техническая механика: учебное пособие / Н. А. Кузьмина. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2020. — 205 с.

О-2. Молотников, В. Я. Техническая механика: учебное пособие / В. Я. Молотников. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 476 с.

Дополнительные источники:

Д-1. Аркуша, А.И. Руководство к решению задач по теоретической механике: учебное пособие /А.И. Аркуша. - М.: Высш.шк., 2000.—336с.

Д-2. Брадис, В.М. Четырехзначные математические таблицы: таблицы / В.М. Брадис. - М.: Просвещение, 2000.- 56с.

Д-3. Олофинская, В.П. Техническая механика.: учебное пособие / В.П. Олофинская. -М.: ИД "ФОРУМ"-ИНФРА-М, 2012.-352с.

Д-4. Сетков, В.И. Сборник задач по технической механике: учебное пособие / В.И. Сетков. -М.: Академия, 2010.-224 с.

Д-5. Эрдеди, А. А. Техническая механика: учебник / А.А. Эрдеди, Н.А.Эрдеди - М.: Академия, 2014.- 528 с.

Интернет-ресурсы:

1. Кузьмина, Н. А. Техническая механика: учебное пособие / Н. А. Кузьмина. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2020. — 205 с. – ЭБС ЛАНЬ.

2. Молотников, В. Я. Техническая механика: учебное пособие / В. Я. Молотников. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 476 с. – ЭБС ЛАНЬ.

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

№ изменения, дата внесения, № страницы с изменением	
Было	Стало
Основание:	
Подпись лица, внесшего изменения	