Министерство образования и науки Забайкальского края
Государственное профессиональное образовательное учреждение
«Приаргунский государственный колледж»

Утверждаю
и. о. заместителя директора
по УПР ГПОУ «ПГК»
_________ Кокухина К. Н.
«__»______________2025 года

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для обучающихся по выполнению практических работ
по дисциплине
ОП.03 «Основы технической механики»
по профессии
13.01.10 «Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования
(по отраслям)»

п.г.т. Приаргунск. 2025

Методические указания разработаны на основе ФГОС по профессии 13.01.10 «Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям)».

Организация-разработчик: ГПОУ «Приаргунский государственный колледж»

Разработчик: Лопатина В.А. преподаватель

Рассмотрено
на заседании предметно-цикловой комиссии сельскохозяйственно-технологического профиля
Протокол №5 от «15» января 2025 г.
Председатель ПЦК _______ Лопатина В.А.

Содержание

Тематическое планирование

Тема	Количество часов
Тема 1.1. Основные понятия и аксиомы статики	
Практическая работа №1 «Определение равнодействующей системы сходящихся сил.»	**2**
Практическая работа № 2 « Определение центра тяжести плоских фигур методом подвешивания.»	**2**
Тема 1. 2. Основные понятия кинематики	
Практическая работа №3: «Решение задач по кинематике точки.»	**2**
Тема 1.3. Основные понятия и аксиомы динамики	
Практическая работа №4 «Решение задач с использованием метода кинетостатики.»	**2**
Практическая работа №5 «Решение задач на расчет работы и мощности при поступательном и вращательном движении; мощности и момента вращения валов многоступенчатых передач.»	**2**
Тема 2.1. Основные положения теории сопротивления материалов	
Практическая работа № 6 «Решение задач на тему срез и смятие»	**2**
Практическая работа №7«Эпюры продольных сил, нормальных напряжений и абсолютных удлинений/укорочений.»	**2**
Практическая работа №8«Расчет напряжения, возникающего в конструкциях, работающих на срез и смятие.»	**2**
Практическое занятие №9«Определение осевых, центробежных и полярных моментов инерции.»	**2**
Практическая работа №10«Определение коэффициента запаса прочности при изгибе.»	**2**
Практическая работа №11«Определение эквивалентного момента на прочности, расчет поперечного сечения образца»	**2**
Практическая работа №12«Расчет динамической нагрузки»	**2**
Итого	**24**

Критерии оценивания:
Оценка «5» выставляется, если студент при ответе на теоретическую часть задания продемонстрировал системные полные знания.
Оценка «4» выставляется, если студент при ответе на теоретическую часть задания продемонстрировал системные знания , но при ответе были допущены незначительные ошибки.
Оценка «3» выставляется, если студент нечетко ответил на вопрос задания.
Оценка «2» выставляется, если студент при ответе на теоретическую часть билета изложил материал несвязно, допустил значительные ошибки.

Практическая работа №1

Тема: Определение равнодействующей системы сходящихся сил

Цель работы: Закрепить теоретические знания и умения определять равнодействующую системы сходящихся сил аналитическим и геометрическим способами

Обучающийся должен знать основные понятия и законы механики твердого тела.

Форма работы - индивидуальная.

Характер работы - частично-поисковый.

Краткие теоретические и справочно-информационные материалы по теме:

Системой сходящихся сил называется система, в которой линии действия сил пересекаются в одной точке, называемой центром системы.

Система сходящихся сил имеет равнодействующую, равную геометрической сумме этих сил и приложенную в точке их пересечения.

Равнодействующая системы сходящихся сил аналитическим способом определяется по

величинам сумм проекций на ось χ и Y по формуле: $F_\Sigma = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}$.

Направление равнодействующей определяется значением угла равнодействующей с осью Ох

по формуле: $\cos \square x \; \square \frac{\square Fx}{Fp}$.

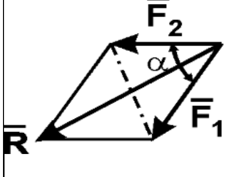
Равнодействующую системы сходящихся сил можно определить геометрическим способом. Для этого необходимо построить многоугольник сил заданной системы сходящихся сил.

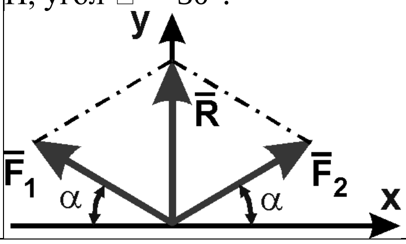
Многоугольник сил строится в следующей последовательности: вычерчиваются векторы сил заданной системы в определённом масштабе один за другим так, чтобы конец предыдущего вектора совпадал с началом последующего. Вектор равнодействующей замыкает полученную ломаную линию, он соединяет начало первого вектора с концом последнего и направлен ему навстречу.

Измеряя полученный при построении равнодействующий вектор сил, учитывая выбранный масштаб, определяется его величина.

Литература: Олофинская, В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий: учебное пособие/ В.П. Олофинская. - 2-е изд. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2012.

Проверка знаний и умений (необходимых для выполнения практической работы)

№ п/п	Задание	Вариант ответа
1.	Чему равен модуль равнодействующей сил F1 и F2, если F1 = F2 = 5 кН, α = 60^0? 	A. 7,1 кН B. 9,7 кН C. 7,9 кН Д. 8,7 кН
2.	Какой вид имеют уравнения равновесия сходящейся системы сил?	**A.** $\Sigma\bar{F}_{kx} = 0,\ \Sigma\bar{F}_{ky} = 0;$ **B.** $\Sigma m_o(\bar{F}_k) = 0,\ \Sigma\bar{F}_k = 0;$ **C.** $\Sigma\bar{F}_k = 0;$ **D.** $\Sigma m_o(\bar{F}_k) = 0.$

3.	Чему равна равнодействующая трёх сил, если R = 10 Н, $F_1 = F_2 = 20$ Н, угол □ = 30°? 	А. 30 Н С. 90 Н В. 0 Н Д. 60 Н

Задание: Определить равнодействующую системы сходящихся сил геометрическим и аналитическим способами. Определить погрешность вычислений двумя способами.

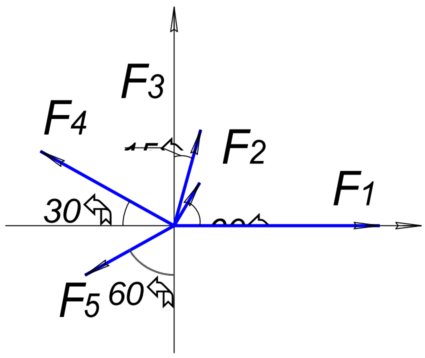
Порядок выполнения работы:

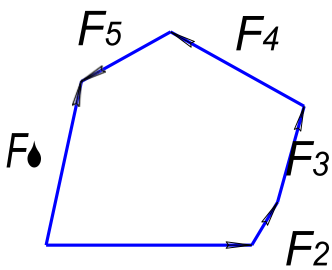
1) По данным варианта вычертить систему сходящихся сил.
2) Определить равнодействующую геометрическим способом.
3) Определить проекции всех сил системы на ось Ох.
4) Определить проекции всех сил системы на ось Оу.
5) Определить модуль равнодействующей по величинам сумм проекций на ось χ и Y.
6) Определить значение угла равнодействующей с осью Ох аналитическим способом.
7) Определить погрешность вычислений по формуле.

$$\rho = \frac{F_{\Sigma ан} - F_{\Sigma гр}}{F_{\Sigma ан}} * 100\%$$

Пример расчета:

F_1 = 20 кН
F_2 = 5 кН
F_3 = 10 кН
F_4 = 15 кН
F_5 = 10 кН
α_1 = 0 °
α_2 = 60 °
α_3 = 75 °
α_4 = 150 °
α_5 = 210 °





1. Определение равнодействующей геометрическим способом.

Используя свойства векторной суммы сил, вычерчиваем векторы сил в масштабе 2 мм = 1 кН последовательно друг за другом.
Равнодействующей вектор соединяет начало первого вектора с концом последнего и направлен ему навстречу.
С помощью линейки определяем модуль равнодействующей силы, а транспортира угол наклона к её оси.
$F_{\Sigma гр}$ = 16,5 кН $\alpha_{\Sigma x}$ = 79°.

2. Определение равнодействующей аналитическим способом: а) Определяем проекции всех сил системы на ось Ох:

$F_{1x} = F_1 \cdot \cos 0° = 20 \cdot 1 = 20$ кН
$F_{2x} = F_2 \cdot \cos 60° = 5 \cdot 0{,}5 = 2{,}5$ кН
$F_{3x} = F_3 \cdot \cos 75° = 10 \cdot 0{,}26 = 2{,}6$ кН
$F_{4x} = - F_4 \cdot \cos 30° = - 15 \cdot 0{,}866 = - 13$

кН
$F_{5x} = -F_5 \cdot \cos 30° = -10 \cdot 0{,}866 = -8{,}66$ кН
Сложив алгебраические проекции, получим проекцию равнодействующей на ось Ox:
$F_{\Sigma x} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} + F_{5x}$; $F_{\Sigma x} = 20 + 2{,}5 + 2{,}6 - 13 - 8{,}66 = 3{,}44$ кН.
Знак проекции соответствует направлению вправо.
б) Определяем проекции всех сил системы на ось Oy:
$F_{1y} = F_1 \cdot \cos 90° = 20 \cdot 0 = 0$
$F_{2y} = F_2 \cdot \cos 30° = 5 \cdot 0{,}866 = 4{,}33$ кН
$F_{3y} = F_3 \cdot \cos 15° = 10 \cdot 0{,}966 = 9{,}66$ кН
$F_{4y} = F_4 \cdot \cos 60° = 15 \cdot 0{,}5 = 7{,}5$ кН
$F_{5y} = -F_5 \cdot \cos 60° = -10 \cdot 0{,}5 = -5$
кН
Сложив алгебраические проекции, получим проекцию равнодействующей на ось Oy:
$F_{\Sigma y} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} + F_{5y}$; $F_{\Sigma y} = 0 + 4{,}33 + 9{,}66 + 7{,}5 - 5 = 16{,}49$ кН.
Знак проекции соответствует направлению вверх.
в) Определяем модуль равнодействующей по величине проекции:

$$F_\Sigma = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}\,; \quad F_\Sigma = \sqrt{3{,}44^2 + 16{,}49^2} = \sqrt{283{,}75} = 16{,}8 \text{ кН}$$

г) Определяем значение угла равнодействующей с осью Ox:

$$\cos\alpha_x = \frac{F_{\Sigma x}}{F_\Sigma};\ \cos\alpha_x = \frac{3{,}44}{16{,}8} = 0{,}2048;\ \alpha'_x = 78°11'$$

$$\rho = \frac{F_{\Sigma ан} - F_{\Sigma гр}}{F_{\Sigma ан}} * 100\%$$

$$\rho = \frac{16{,}8 - 16{,}5}{16{,}8} * 100\% \approx 2\% < 5\%.$$

3. Определение погрешности вычислений.

Вывод: равнодействующая определена правильно.

Данные для выполнения практической работы

Параметр	Вариант																													
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
F_1, кН	8	16	18	20	6	4	5	12	12	8	20	4	15	9	11	12	18	8	15	13	16	9	11	18	20	8	10	15	17	5
F_2, кН	18	17	10	8	10	12	20	5	17	18	10	15	17	19	7	16	12	8	19	5	16	8	10	6	17	15	17	18	12	20
F_3, кН	19	15	16	17	10	10	12	8	20	4	9	12	18	13	6	10	10	4	10	14	6	9	6	16	17	19	20	4	9	12
F_4, кН	16	12	4	15	11	12	8	19	10	14	6	16	5	20	19	11	18	6	4	19	7	12	19	4	15	7	17	19	18	11
F_5, кН	11	10	15	4	6	9	16	16	19	18	20	8	6	7	17	20	8	4	15	16	10	16	5	10	12	20	12	8	20	6
α_1, град	60	0	60	30	45	100	30	30	30	360	45	45	90	45	60	45	90	45	0	0	60	0	45	60	0	30	30	0	30	30
α_2, град	45	60	30	60	60	120	250	75	45	230	150	270	150	60	0	0	170	60	70	45	170	60	0	30	30	45	120	30	60	45
α_3, град	0	120	170	90	210	45	120	150	170	170	330	150	270	90	180	150	250	150	90	60	230	210	60	120	120	70	170	120	120	150
α_4, град	170	150	230	210	170	270	180	170	230	270	180	70	300	230	250	210	70	270	210	210	330	270	210	250	270	210	270	170	180	270
α_5, град	210	180	210	300	120	300	60	360	330	60	170	330	360	210	330	270	360	360	270	300	30	330	270	300	330	270	150	300	270	330

Контрольные вопросы:
1. Какая система сил является системой сходящихся сил?
2. Сформулируйте условие равновесия системы сходящихся сил в аналитической и геометрической формах.
3. Сформулируйте правила построения силового многоугольника.
4. Приведите формулу для определения равнодействующей системы сходящихся сил.
5. В каком случае проекция силы равна 0?
6. В каком случае проекция силы положительна?

Практическая работа № 2

Тема: Определение центра тяжести плоских фигур методом подвешивания.

Цель работы: Выполнение расчета координат центра тяжести простых и сложных плоских фигур аналитически и определение центра тяжести сложной фигуры методом подвешивания.

Теоретический материал

Центром тяжести тела называется центр параллельных сил тяжести всех элементарных частиц тела.

Любое тело состоит из большого количества элементарных частиц.

Центр тяжести есть геометрическая точка, которая может лежать вне тела (кольцо, цилиндр с отверстием).

Координаты центра тяжести тела находят по тем же формулам, что и координаты центра параллельных сил.

Очень часто приходится определять центры тяжести геометрических плоских фигур сложной формы. Координаты центра тяжести вычисляются по формулам: $X_c = \dfrac{\sum A_i \cdot X_i}{\sum A_i}$, $\quad Y_c = \dfrac{\sum A_i \cdot Y_i}{\sum A_i}$; .

где Ai – площадь простой фигуры (элементарной площади);

Xi. Yi – координаты центра тяжести элементарной площади.

Для вычисления координат центра тяжести геометрических плоских фигур используются следующие методы:

1. Метод симметрии:
- если однородное тело имеет ось симметрии , то центр тяжести лежит на оси симметрии;
- если однородное тело имеет две оси симметрии , то центр тяжести лежит в точке их пересечения;
- центр тяжести однородного тела вращения лежит на оси вращения.
2. Метод разделения: сложные сечения разделяем на минимальное количество простых частей, положение центров тяжести которых, легко определить;
3. Метод отрицательных площадей: полости (отверстия) рассматриваются как часть сечения с отрицательной площадью.

Методика решения задач по аналитическому определению координат центра тяжести площади.

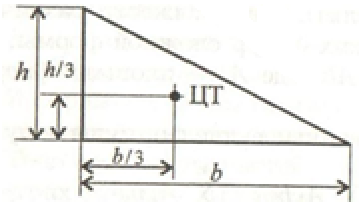
Для решения задач плоской системы параллельных сил и определения координат центра тяжести плоской фигуры сложной конфигурации применяем следующую методику:

1. Сложную фигуру разбиваем на элементарные площади.
2. В каждой элементарной площади определяем центр тяжести
3. Выбираем оси координат
4. Относительно этих осей координат определяем координаты центра тяжести каждой элементарной площади
5. Составив уравнения, решаем задачу по определению центра тяжести сложной фигуры.
6. При решении задач необходимо помнить, если фигура имеет вырез, то в уравнениях для X_c Y_c A_x A_y площадь выреза ставится со знаком «минус»

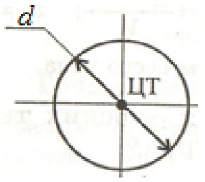
Сведения о координатах центра тяжести простейших фигур

Прямоугольник. Так как прямоугольник имеет две оси симметрии , то его центр тяжести находится на пересечении осей симметрии, т.е. в точке пересечения диагоналей прямоугольника. A=b·h.

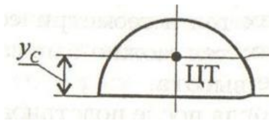
Треугольник. Центр тяжести лежит в точке пересечения его медиан. Из геометрии известно, что медианы треугольника пересекаются в одной точке и делятся в отношении 1:2 от основания. A= b·h/2.



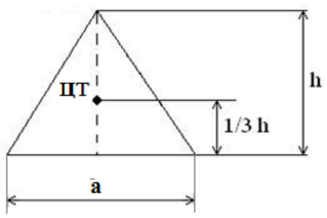
Круг. Так как круг имеет две оси симметрии, то его центр тяжести находится на пересечении осей симметрии. A=$\pi d^2/4$.



Полукруг. Полукруг имеет одну ось симметрии, его центр тяжести лежит на этой оси. Другая координата центра тяжести вычисляется по формуле: $y_c = \frac{4R}{3\pi}$.



Равнобедренный треугольник. Центр тяжести лежит на оси симметрии, которой является высота треугольника. В равнобедренном треугольнике медиана совпадает с высотой h треугольника. A=a·h/2.



Методика опытного определения координат центра тяжести способом подвешивания.

Установка для опытного определения координат центра тяжести способом подвешивания состоит из вертикальной стойки ***1*** (рисунок 1), к которой прикреплена игла ***2***.

Плоская фигура ***3*** изготовлена из картона, в котором легко проколоть отверстие. Отверстия ***А*** и ***В*** прокалываются в произвольно расположенных точках (лучше на наиболее удаленном расстоянии друг от друга).

Плоская фигура подвешивается на иглу сначала в точке ***А***, а потом в точке ***В***. При помощи отвеса ***4***, закрепленного на той же игле, на фигуре прочерчивают карандашом вертикальную линию, соответствующую нити отвеса.

Центр тяжести ***С*** фигуры будет находиться в точке пересечения вертикальных линий, нанесенных при подвешивании фигуры в точках ***А*** и ***В***.

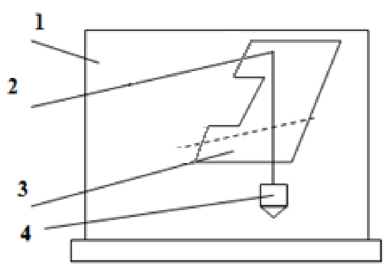


Рисунок 1. Установка для опытного определения координат центра тяжести способом подвешивания

Пример. Определить положение центра тяжести фигуры, представленной на рисунке 2.

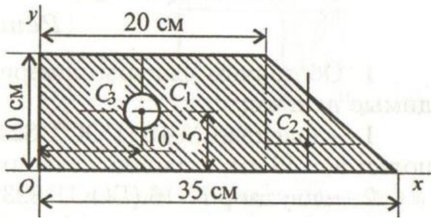


Рисунок 2. Сложная плоская фигура

Решение:

1. Выбираем оси координат, так чтобы ось 0х прошла по крайнему нижнему габаритному размеру, а ось 0у – по крайнему левому габаритному размеру.
2. Разбиваем сложную фигуру на минимальное количество простых фигур:
   1) прямоугольник 20х10;
   2) треугольник 15х10;
   3) круг R=3 см.
3. Вычисляем площадь каждой простой фигуры, её координаты центра тяжести. Результаты вычислений заносим в таблицу 1.

Таблица 1. Расчетные данные

№ фигуры	Площадь фигуры А, *$см^2$*	Координаты центра тяжести	
		Х, см	У, см
1	$A_1=20\cdot10=200$	20:2=10	10:2=5
2	$A_2=\frac{1}{2}15\cdot10=75$	$20+\frac{1}{3}15=25$	$\frac{1}{3}10=3{,}3$
3	$A_3=-3{,}14\cdot3^2=-28{,}3$	10	5

3. Вычисляем координаты центра тяжести всей фигуры по формулам:

$$x_c=\frac{A_1x_1+A_2x_2+A_3x_3}{A_1+A_2+A_3}=\frac{200\cdot10+75\cdot25-28{,}3\cdot10}{200+75-28{,}3}=14{,}5\ см$$

$$y_c=\frac{A_1y_1+A_2y_2+A_3y_3}{A_1+A_2+A_3}=\frac{200\cdot5+75\cdot3{,}3-28{,}3\cdot5}{200+75-28{,}3}=4{,}5\ см$$

Обеспечивающие средства

1. методическое руководство по выполнению работы;
2. таблица тригонометрических функций;
3. индивидуальное задание;
4. тетрадь для практических работ;
5. штангенциркуль, линейка;
6. установка для подвешивания фигур;
7. карандаш, линейка, ластик, авторучка;
8. калькулятор.

Методические рекомендации по выполнению работы

1. Внимательно изучить методические указания, предложенный теоретический материал.
2. Начертить в тетрадях свою плоскую фигуру по размерам, с указанием осей координат.

3. Определить центр тяжести аналитическим способом.
4. Обозначить на рисунке центры тяжести простых фигур и общей фигуры, полученные расчетным путем.
5. Определить центр тяжести опытным путем на установке для определения координат центра тяжести.
   – Вырезать данную фигуру из тонкого картона.
   – Определить центр тяжести своей фигуры на установке.
6. Измерить штангенциркулем или линейкой отмеченные на фигуре координаты центра тяжести, записать их в таблицу 2 и обозначить на рисунке.
7. Определить погрешность определения центра тяжести расчетным и опытным путем.
8. Сделать выводы о проделанной работе.
9. Ответить на контрольные вопросы.

Порядок выполнения заданий

1. По исходным данным своего варианта начертить фигуру в масштабе 1:1.
2. Разбить фигуру на минимальное количество фигур, центры тяжести которых мы знаем, как определить. Присвоить индексы простым фигурам.
3. Выбрать оси координат и отметить на них проекции центров тяжести простых фигур.
4. Вычислить площади простых фигур.
5. Вычислить координаты центра тяжести всей фигуры по формулам (положение центра тяжести нанести на чертеж фигуры)
6. Отметить центр тяжести всей фигуры на чертеже.
7. Вычертить таблицу 2 в тетради, занести в таблицу 2 полученные расчетным путем данные.

Таблица 2. Расчетные и опытные данные

№ элементарной простой плоской фигуры	*Расчетные координаты центров тяжести простых фигур (см)*		*Площади простых фигур (см)*	*Общая площадь сложной фигуры (см)*	*Расчетные координаты центра тяжести сложной фигуры (см)*	*Опытные координаты центра тяжести (см)*	*Погрешность*
	X_i	Y_i	A_i	A	X_C	X_{C1}	ΔX
					Y_C	Y_{C1}	ΔY

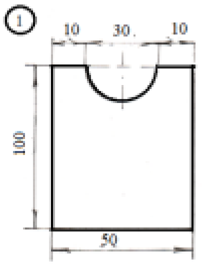
8. Вырезать данную фигуру из тонкого картона. Просверлить два отверстия, края отверстий должны быть гладкими, а диаметр отверстий несколько больше диаметра иглы для подвешивания фигуры.
9. Подвесить фигуру сначала в одной точке (отверстии), прочертить карандашом линию, совпадающую с нитью отвеса. То же повторить при подвешивании фигуры в другой точке.
10. Измерить штангенциркулем или линейкой отмеченные на фигуре координаты центра тяжести, записать их в таблицу 2 и обозначить на чертеже.
11. Определить погрешность определения координат центра тяжести расчетным и опытным путем и занести в таблицу 2:

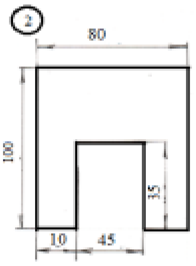
$$\Delta X = \left|\frac{X_{c1} - X_c}{X_{c1}}\right| \cdot 100\% \qquad \Delta Y = \left|\frac{Y_{c1} - Y_c}{Y_{c1}}\right| \cdot 100\%$$

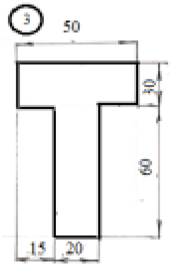
Задания для выполнения работы

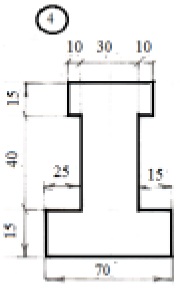
Определить центр тяжести площади сложной фигуры (X_c Y_c). Данные для решения выбрать по таблице 3.

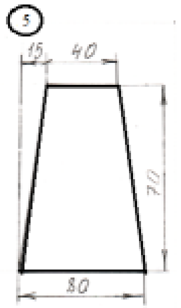
Таблица 3. Исходные данные

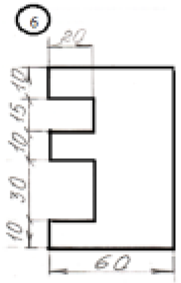


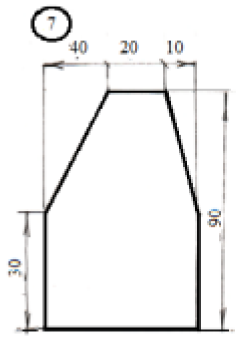


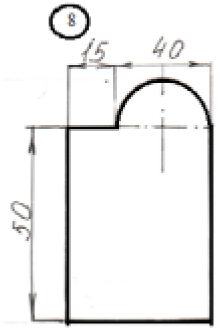


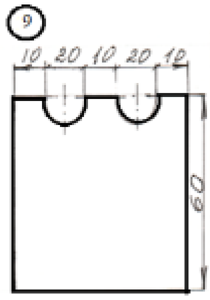


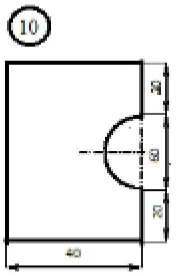


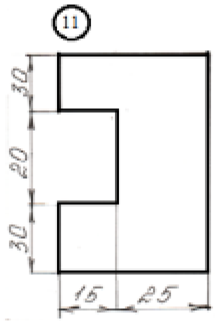


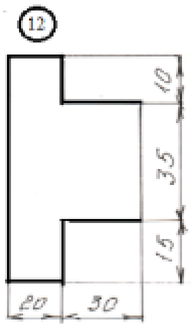


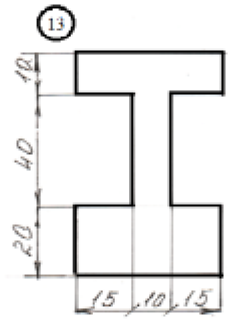


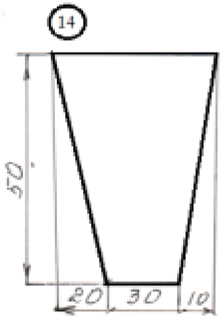


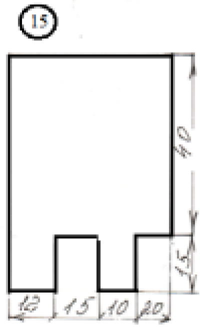


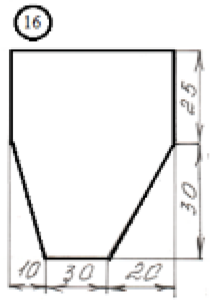


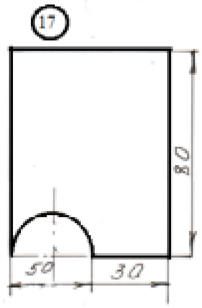


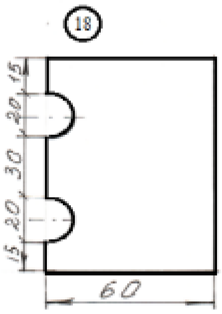












Выводы

Выводы формулируются в свободной форме.
В выводах необходимо отразить следующие моменты:

1) В какой степени достигнута цель работы.
2) Какие знания и умения приобретены в процессе выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Можно ли рассматривать силу тяжести тела как равнодействующую систему параллельных сил?
2. Может ли располагаться центр тяжести вне самого тела?
3. В чем сущность опытного определения центра тяжести плоской фигуры?
4. Как определяется центр тяжести сложной фигуры, состоящей из нескольких простых фигур?
5. Как следует рационально производить разбиение фигуры сложной формы на простые фигуры при определении центра тяжести всей фигуры?
6. Какой знак имеет площадь отверстий в формуле для определения центра тяжести?
7. На пересечении каких линий треугольника находится его центр тяжести?
8. Если фигуру трудно разбить на небольшое число простых фигур, какой способ определения центра тяжести может дать наиболее быстрый ответ?

Практическая работа №3

Тема: Решение задач по кинематике точки.
Цель работы: Определение абсолютной скорости и ускорения точки при естественном способе задания движения.

Теоретический материал

Для задания движения точки применяют один из следующих способов: 1-естественный; 2- координатный; 3-векторный. При решении задач очень важно, соблюдать следующую последовательность:

1. Установить способ задания движения точки и вид движения
2. Наметить путь решения исходя из данных условий задачи
3. Уравнения движения решать относительно неизвестных.

Для установления способа задания движения точки и вида движения при координатном способе необходимо найти траекторию и закон движения точки по ней, а также скорость и ускорение $x=ct^2$; $y=bt$.

Для установления способа задания движения точки и вида движения при естественном способе задания движения необходимо найти при $t=2c$ полное ускорение точки, которая движется по дуге окружности радиусом r по закону $s=ct^2$.

Пример. Диск радиусом $r=2$м вращается вокруг неподвижной оси (рисунок 1) согласно уравнению $\varphi=25t+5t^3$ (φ - в радианах, t - в секундах). На ободе диска перемещается точка М. Определить абсолютные скорость и ускорение точки поверхности диска в момент времени t_1 , t_2

Дано:
$r=2$м;
$\varphi=25t+5t^3$;
$t_1=0$;
$t_2=2$c.
Определить v, a?

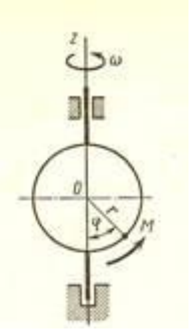


Рисунок 1. Схема перемещения точки М

Решение.

Для определения скорости и ускорения точки необходимо знать угловую скорость и ускорение диска.

1. Уравнение изменения угловой скорости диска.
   $\omega=d\varphi/dt=d(25t+5t^3)/dt= 25+15t^2$.
2. Уравнение изменения углового ускорения диска.
   $\varepsilon= d\varphi/dt=d(25t+15t^2)=30t$.
3. Определим угловую скорость и угловое ускорение диска в момент времени $t_1=0$; $t_2=2$c:

$\omega_1=25t+15t^2{}_1=25$ рад/с;
$\omega_2=25t+15t^2{}_2=25+15\cdot2^2=85$ рад/с;
$\varepsilon_1=30t_1=0$;
$\varepsilon_2=30t_2=30\cdot2=60$ рад/с.

4. Определим скорость точки поверхности диска в указанные моменты времени:

$\upsilon_1=\omega_1\cdot r=25\cdot2= 50$м/с;
$\upsilon_2=\omega_2\cdot r=85\cdot2= 170$м/с.

5. Определим нормальное и касательное ускорения точки поверхности диска в момент времени $t_1=0$; $t_2=2$c:

$a_{n1}=\omega_1^2\cdot r=25^2\cdot2= 1{,}25\cdot10^3$ м/с^2 ;
$a_{n2}=\omega_2^2\cdot r=85^2\cdot2= 14{,}5\cdot10^3$ м/с^2 ;
$a_{t1}=\varepsilon_1\cdot r=0$;
$a_{t2}=\varepsilon_2\cdot r=60\cdot2=120$ м/с^2.

6. Определяем ускорение точки

$a_1=\sqrt{a_{n1}^2+a_{t1}^2}=\sqrt{(1{,}25\cdot10^3)^2+0}=1{,}25\cdot10^3$ м/с^2;

$a_2=\sqrt{a_{n2}^2+a_{t2}^2}=\sqrt{(14{,}5\cdot10^3)^2+120^2}=14{,}5\cdot10^3$ м/с^2.

Обеспечивающие средства

1. методическое руководство по выполнению работы;
2. таблица тригонометрических функций;
3. индивидуальное задание;
4. тетрадь для практических работ;
5. карандаш, линейка, ластик, авторучка;
6. калькулятор.

Методические рекомендации по выполнению работы

1. Внимательно изучить методические указания, предложенный теоретический материал.
2. В соответствии с вариантом выполнить задание.
Для этого необходимо:
- полностью переписать условие задания;
- выполнить задание в соответствии с методикой, приведенной выше;
- располагать действия в таком порядке, чтобы был виден логический ход выполнения работы. (Рисунки и схемы следует выполнять с помощью чертежных принадлежностей).

3. Сделать выводы о проделанной работе.
4. Ответить на контрольные вопросы.

Литература

1. Эрдеди А.А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред.проф.образования/ А.А. Эрдеди, Н.А. Эрдеди. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2017.
2. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий. - М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2013.
3. Сафонова Г.Г., Артюховская Т.Ю., Ермаков Д.А. Техническая механика. - М.: ИНФРА-М, 2013.

Порядок выполнения заданий

1. Полностью переписать условие задания.
2. Определить угловую скорость и угловое ускорение диска в указанные моменты времени.
3. Определить скорость точки поверхности диска в указанные моменты времени.
4. Определить нормальное и касательное ускорения точки поверхности диска.
5. Определить ускорение точки.

Задания для выполнения работы

Диск радиусом r вращается вокруг неподвижной оси согласно уравнению φ=f(t). На ободе диска перемещается точка М. Определить абсолютные скорость и ускорение точки поверхности диска в момент времени t_1 , t_2 . Исходные данные выбрать в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные

вариант	*r, м*	*φ, рад*	*t_1,с*	*t_2,с*	*вариант*	*r, м*	*φ, рад*	*t_1,с*	*t_2,с*
1	0,2	$5t^2 +15t^3$	1	4,5	16	3,5	$14t^2 +3t^3$	1,5	7
2	0,4	$4t^2 +15t^3$	2	5,6	17	2,5	$12t +3t^4$	1,4	5
3	1	$14t^2 +3t^3$	1	4,3	18	4	$4t^2 +15t^3$	2,5	4
4	1,2	$12t +3t^4$	4	6,5	19	4,5	$8t^5 +2t^2$	3,5	5
5	1,5	$8t^5 +2t^2$	3	11	20	0,4	$6t^5 +2t^2$	4,5	6

6	0,5	$4t^2 + 15t^3$	2	7	21	0,6	$6t^2 + 2t^3$	2	4,5
7	2	$6t^5 + 2t^2$	1,5	5	22	0,8	$5t^2 + 15t^3$	1	5,6
8	0,4	$8t^5 + 2t^2$	1,4	4	23	3	$12t + 3t^4$	2	4,3
9	0,6	$12t + 3t^4$	2,5	5	24	1,2	$6t^5 + 2t^2$	1	6,5
10	0,8	$14t^2 + 3t^3$	3,5	6	25	1,5	$6t^2 + 2t^3$	4	11
11	3	$6t^2 + 2t^3$	4,5	9	26	0,5	$14t^2 + 3t^3$	3	6,5
12	3,5	$6t^5 + 2t^2$	2	3,5	27	2	$8t^5 + 2t^2$	2	7,5
13	2,5	$5t^2 + 15t^3$	1	4,5	28	0,2	$6t^2 + 2t^3$	1,5	5
14	4	$6t^5 + 2t^2$	3	6,5	29	0,4	$4t^2 + 15t^3$	1,5	6
15	4,5	$8t^5 + 2t^2$	4	7,5	30	1	$25t+5t^3$	2,5	9

Выводы

Выводы формулируются в свободной форме.
В выводах необходимо отразить следующие моменты:

1) В какой степени достигнута цель работы;
2) Какие знания и умения приобретены в процессе выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите способы задания движения точки.
2. Поясните, в чем заключается каждый способ задания движения точки.
3. Опишите последовательность решения задачи для нахождения движения точки.
4. Перечислите виды движения точки.
5. Как направлены векторы скорости и ускорений при криволинейном движении?
6. Как определить нормальное и касательное ускорение точки?
7. Как движется точка, если: а) $a_n = 0, a_\tau = 0;$ б) $a_n = 0, a_\tau \neq 0;$ в) $a_n \neq 0, a_\tau = 0;$ г) $a_n \neq 0, a_\tau \neq 0;$

№1. Вал электромотора, вращаясь равномерно с частотой
n=1200 об/мин. После выключения рубильника вал остановился из-за трения в подшипниках, сделав N=100 оборотов.
Определить угловое ускорение ε, считая его постоянным.
Движение вращательное равнозамедленное.
Уравнения движения:

$$\varphi = 2\pi N = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t - \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}$$

$$\omega = \omega_0 - \varepsilon \cdot t = 0$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_0}{t}$$

$$\omega_0 = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi \cdot 1200}{30} = 40 \cdot \pi \, (c^{-1})$$

$$\varphi = \omega_0 \cdot t - \frac{\omega_0 \cdot t}{2} = 2\pi N = \frac{\omega_0 \cdot t}{2} = 200\pi$$

$$t = \frac{400 \cdot \pi}{40 \cdot \pi} = 10\ c$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_0}{t} = \frac{40 \cdot \pi}{10} = 4\pi\ (c^{-2})$$

Задача №2. Маховое колесо начинает вращаться из состояния покоя равноускоренно, через 10 мин после начала движения оно имеет угловую скорость 120 об/мин. Сколько оборотов сделало колесо за 10 мин.

Решение: Вид движения – вращательное равноускоренное.

Уравнения движения:

$$\varphi = 2\pi N = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}$$

$$\varphi_0 = 0$$

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$$

$$\omega_0 = 0$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{120\pi}{30} = 4\pi\ (c^{-1})$$

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t} = \frac{4\pi}{600} = \frac{\pi}{150}\ (c^{-2})$$

$$\varphi = 2\pi N = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2} = \frac{\pi \cdot (600)^2}{150 \cdot 2} = 1200\pi\ (\text{рад.})$$

$$N = \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{1200\pi}{2\pi} = 600\ \text{об.}$$

Задача №3. Определить скорость V и ускорение a точки, находящейся на поверхности Земли на широте $\propto = 60^0$, принимая во внимание только вращение Земли вокруг своей оси, радиус Земли $R_з$=6370 км.

Решение:

Определим частоту вращения n. Земля совершает один оборот за 24 часа (24·60=1440 мин).

$$n = \frac{1}{1440}\ \text{об/мин}$$

Определим линейную скорость вращения точки:

$$V = \omega \cdot R = \frac{\pi n}{30} \cdot R_з \cdot \cos 60^0 = \frac{3,14 \cdot 3185}{1440 \cdot 30} = 0,232\ \text{км/с}$$

Нормальное ускорение точки:

$$a_n = \frac{V^2}{R} = \frac{0,232^2}{3185} = 1,69 \cdot 10^{-5}\ \text{км/с}^2$$

При равномерном вращении тангенциальное ускорение $a_\tau = 0$

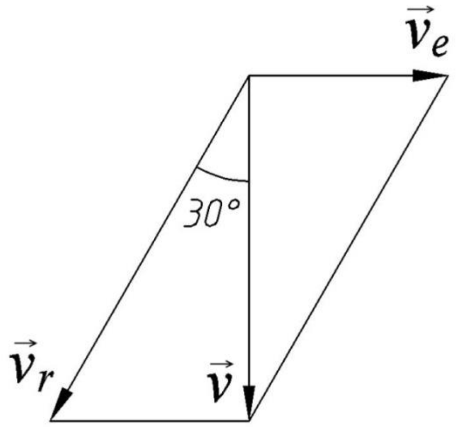
Полное ускорение $a = a_n$

Задачи по теме: «Кинематика точки». Сложное движение.

Задача №1. Автомобиль движется по шоссе со скоростью V_e=40 км/ч (переносная скорость). Вертикальные капли дождя оставляют на боковом стекле автомобиля след под углом α=30^0 к вертикали. Определить скорость капель относительно Земли $V_{абс.}$.

Решение:

Определим относительную скорость капель V_r - скорость капель в подвижной системе отсчёта. Относительная скорость капель будет являться гипотенузой прямоугольного треугольника:



$V_r = V_e/sin30^0=80$ *км/ч*

Абсолютная скорость капель:

$$V = \sqrt{V_r^2 - V_{å}^2} = \sqrt{80^2 - 16^2} = 68\ \text{êì / ÷}$$

Задача №2. Длина встречного поезда равна l=175 м. Сколько времени пассажир поезда, идущего со скоростью $V_{абс}$=72 км/ч, будет видеть встречный поезд, если скорость последнего равна V_e=54 км/ч.

Решение:

$V=V_r - V_e$=72 км/ч

$V_r=V+V_e$=72+54=126 км/ч=35 м/с

$t=l/V_r=175/35=5$ *с*

Задача №3.Моторная лодка должна переплыть на другой берег по кратчайшему расстоянию из т. А в т. В, расположенной на противоположной стороне. АВ=l=*250 м.* Определить под каким углом α к прямой АВ должна плыть лодка и сколько времени займёт переправа, если скорость течения реки V_e=10 м/мин (переносная скорость). Скорость лодки относительно воды V_r=20 м/мин.

Решение:

$$\sin\alpha = \frac{V_{å}}{V_r} = \frac{10}{20} = 0,5$$

$$\alpha = 30^0$$

$$V = \sqrt{V_r^2 - V_{å}^2} = \sqrt{20^2 - 10^2} = 10 \cdot \sqrt{3} = 17,3\ \text{ì / ì èí}$$

$t=l/V=250/17,3=14,5$ *мин* .

Задача №4. В момент вылета снаряда из ствола пушки со скоростью V=600 м/с происходит поворот ствола в вертикальной плоскости с угловой скоростью ω=2 рад/с. Определить скорость снаряда в этот момент времени по отношению к Земле.? Длина ствола l =2,5м.

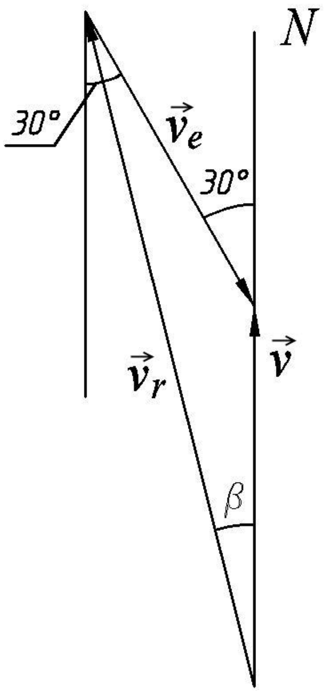
Решение:

Абсолютная скорость снаряда

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_{å}^2} = \sqrt{600^2 + (2 \cdot 2,5)^2} = \sqrt{360000 + 25} = 600,02\ \text{ì / ñ}$$

Задача №5. С какой скоростью и по какому курсу должен лететь самолёт, чтобы за время t=2 часа пролететь расстояние S=300 км точно на Север.

Во время полёта дует северо-западный ветер со скоростью V=27 км/ч, направленный под углом ∝=30^0 к меридиану.



Решение:
Скорость самолёта по отношению к Земле – абсолютная скорость будет равна:
V=S/t=300/2=150 км/ч
Переносная скорость – это скорость ветра V_e=27 км/ч
Относительную скорость определяем по теореме косинусов

$$V_r = \sqrt{V_{\text{å}}^2 + V^2 - 2V \cdot V_{\text{å}} \cos150^0} = \sqrt{27^2 + 150^2 + 2 \cdot 27 \cdot 150 \cdot 0866}$$

$$= 174 \text{êì} / \div = 48\ \text{ì} / \tilde{n}$$

Курс самолёта определяем по теореме синусов

$$\frac{\sin\beta}{V_e} = \frac{\sin150^0}{V_r}$$

$$\sin\beta = \frac{V_{\text{å}}}{V_r} \cdot \sin150^0 = \frac{27}{174} \cdot 0,866 = 0,13$$

$$\beta \approx 7^0$$

Задача №6. В гидравлической турбине вода из направляющего аппарата попадает на вращающееся рабочее колесо, лопатки которого поставлены таким образом, чтобы относительная скорость частиц воды была направлена по касательной к лопасти рабочего колеса.
Абсолютная скорость частиц воды V=15 м/с, угол между абсолютной скорость и радиусом $\propto=60^0$, радиус r=2м, угловая скорость вращения колеса *n*=30 об/мин.
Найти относительную скорость частиц воды.
Решение:
Определим переносную скорость частиц воды:

$$V_e = \omega \cdot r = \frac{\pi n}{30} \cdot 2 = \frac{3,14 \cdot 30}{30} \cdot 2 = 6,28\ \text{ì} / \tilde{n}$$

Относительную скорость определим по теореме косинусов:

$$V_r = \sqrt{V^2 + V_e^2 - 2V \cdot V_{\text{å}} \cdot \cos 30^0} = \sqrt{15^2 + 6,28^2 - 2 \cdot 15 \cdot 6,28 \cdot 0866} =$$

$$\sqrt{100,2} = 10,06\ \text{ì} / \tilde{n}$$

Определение частот вращения валов
7.1.Частота вращения промежуточного вала

$$n_2 = \frac{n_1}{U_1}, \quad (17)$$

где n_1– частота вращения входного (быстроходного) вала, об/мин,
U_1– передаточное число быстроходной передачи.

7.2. Частота вращения выходного (тихоходного) вала

$$n_3 = \frac{n_2}{U_2}, \quad (18)$$

где n_2– частота вращения промежуточного вала, об/мин,
U_2– передаточное число тихоходной передачи.

Практическая работа №4

Тема: Решение задач с использованием метода кинетостатики

Цель: Определение параметров движения тела с помощью основного закона динамики и методом кинетостатики.

Для выполнения работы необходимо знать:

Основной закон динамики: «Ускорение, приобретенное телом под действием некоторой силы, пропорционально величине этой силы и направлено в ту же сторону».

$F_\Sigma = m \cdot a_\Sigma$,

где $F_\Sigma = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}$ – равнодействующая сила, равная сумме квадратов проекций равнодействующей на две перпендикулярных оси;

m – масса тела;

$a_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} a_i$ – ускорение, приобретенное телом под действием нескольких сил (аксиома о независимости действия сил).

Принцип Даламбера:

Активные силы, реакции связей (опор) и сила инерции образуют уравновешенную систему сил, т.е. если к силам, действующим на тело, движущееся с ускорением, добавить силу инерции, то их можно представить в равновесии

$$\sum_{i=1}^{n} F_i + \sum_{i=1}^{n} R_i + F_{ин} = 0$$

где $\sum_{i=1}^{n} F_i$ – геометрическая сумма внешних сил;

$\sum_{i=1}^{n} R_i$ – геометрическая сумма реакций связей(опор);

F_i – сила инерции, которая определяется:

Пример решения задач.

Пример1.

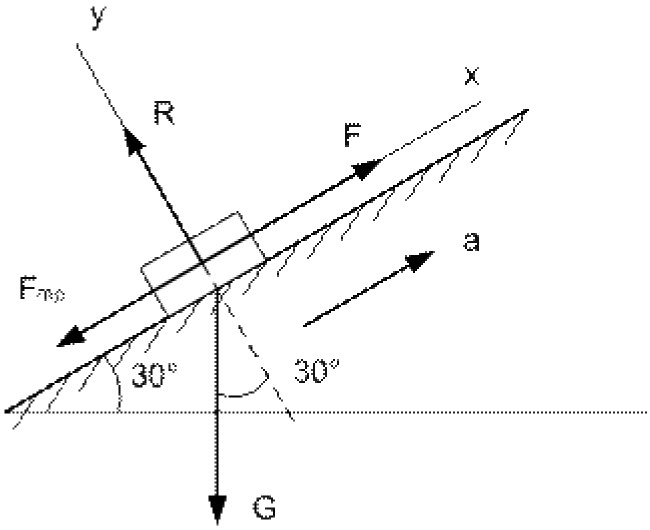
Тело массой $m = 60$ кг перемещается по наклонной поверхности с ускорением $a = 4\,м/с^2$ с помощью силы F. Определить силу тяги F, если коэффициент трения $f_{тр} = 0,2$.

Дано: $m = 60$ кг, $a = 4\,м/с^2$, $f_{тр} = 0,2$

Определить: F

Решение:

1. С применением основного закона динамики.



$F_\Sigma = m \cdot a,$

где $F_\Sigma = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}$

$F_{\Sigma y} = R - G \cdot \cos 30° = 0,$ так как $a_y = 0$ (тело движется по оси х);

$R = G \cdot \cos 30° = mg \cdot \cos 30° = 60 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}866 = 510H$

$F_{\Sigma x} = F - F_{тр} - G \cdot \sin 30° = m \cdot a_\Sigma$;

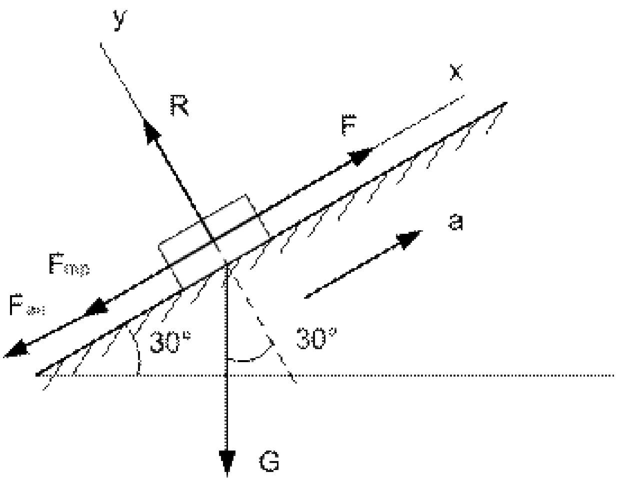
$F_{тр} = f \cdot R = 0{,}2 \cdot 510 = 102H$;

$a_\Sigma = a_x = a$;

$F = F_{тр} + G \cdot \sin 30° + m \cdot a = 102 + 60 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}5 + 60 \cdot 4 = 636{,}3H$;

Ответ: $F = 636{,}3H$

2. С применением принципа Даламбера (рис.6.1 б).



Так как тело движется вдоль оси X, то

$a_x = 0$; следовательно $F_{уин} = 0$;

$$\sum_{i=1}^{n} F_i + \sum_{i=1}^{n} R_i + F_{ин} = 0$$

$$F - F_{тр} - F_{ин} - G \cdot \sin 30° = 0;$$

$$F - f \cdot R - m \cdot a_x - mg \cdot \sin 30° = 0;$$

$$F = f \cdot mg \cdot \cos 30° + m \cdot a_x + mg \cdot \sin 30°$$

$$a_x = a = 4 м/с^2$$

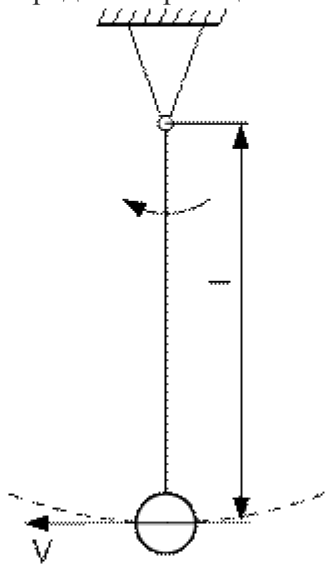
$$F = 0{,}2 \cdot 60 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}866 + 60 \cdot 4 + 60 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}5 = 636{,}3 H$$

Ответ: F = 636,3 Н

Пример 2.

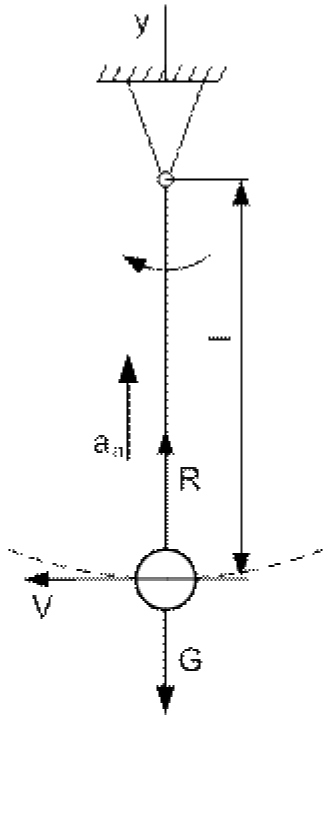
Дано:V=7,5м¤с, m=200кг, l=4м

Определить реакцию нити.



Решение:

1. С применением основного закона динамики.

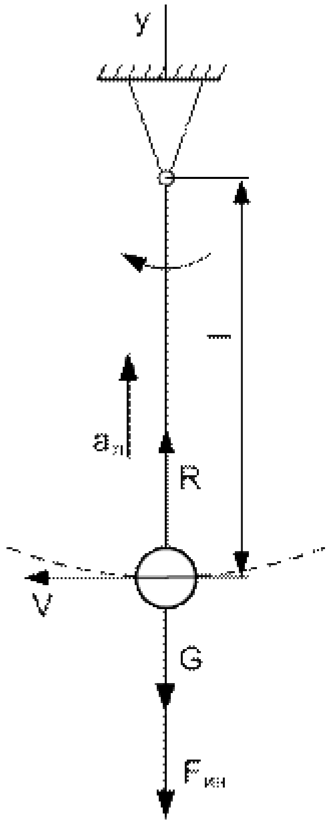


$F_\tau = m \cdot a_\tau$;
$F_\tau = F_{\tau y} = R - G$; $R = F_{\tau y} + G$

$$a_\tau = a_n = \frac{V^2}{r}, \quad r = l$$

$$R = m \cdot a_\tau + mg = m(a_n + g) = 20 \cdot \left(\frac{7{,}5^2}{4} + 9{,}81\right) = 477{,}5H$$

2. С применением принципа Даламбера.



$R - G - F_{ин} = 0$;

$$R = G + F_{ин} = mg + na_n = m\left(g + \frac{V^2}{l}\right);$$

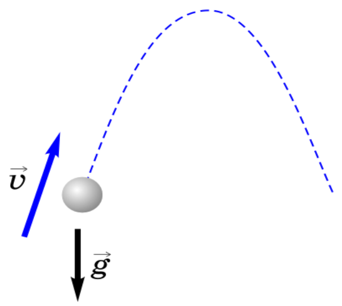
$$R = 20 \cdot \left(9{,}81 + \frac{7{,}5^2}{4}\right) = 477{,}4H$$

Ответ: $R = 477{,}4H$.

Задачи для практической работы:

1.Определить силу тяжести, действующую на круглый однородный диск радиуса 20 см., вращающийся вокруг оси по закону ϕ=3t^2 . Ось проходит через центр диска перпендикулярно его плоскости, главный момент сил инерции диска относительно оси вращения равен 4 Н*см.

2. Тело весом3500 Н движется вверх по наклонной плоскости согласно уравнению $S = 0{,}16t^2$ (рис.14.5). Определить величину движущей силы, если коэффициент трения тела о плоскость f=0,15.



3. В кабине лифта размещены пружинные весы на которых установлен груз. Когда кабина неподвижна показание весов составляет 50 Н., а при движении лифта показание весов увеличилось до 51Н. Определить с каким ускорением движется кабина лифта.

Практическая работа №5

Тема: Решение задач на расчет работы и мощности при поступательном и вращательном движении; мощности и момента вращения валов многоступенчатых передач

Цель работы:

1. Научится производить кинематический и силовой расчеты многоступенчатого привода.
2. Получить навыки в чтении и составлении кинематических схем.

Теоретическая часть.

Механическими передачами называют механизмы, служащие для передачи механической энергии на расстояние.

Основные кинематические и силовые соотношения в передачах.

Особенности каждой передачи и ее применение определяют следующие параметры:

1 Мощность на ведущем валу P_1 и ведомом P_2 или вращающие моменты M_1, M_2 ;

2 Частота вращения (угловые скорости) на ведущем валу n_1, ω_1 и ведомом n_2, ω_2;

3.Коэффициент полезного действия;

КПД= P_1/P_2

Для многоступенчатого привода

КПД $_{общ}$ = КПД$_1$ * КПД$_2$ ……КПД$_n$;

При расчете принять следующие значения КПД передач (с учетом потерь в подшипниках)

Табл. 1

Тип передачи	Откр.	Закр.	Тип передачи	Откр.	Закр.
Цилиндрическая прямозубая	0,95	0,97	Цепная.	0,92	---
Цилиндрическая косозубая	0,96	0,98	Клиноременная.	0,95	---
Зубчатая коническая	0,95	0,96	Червячная.	---	0,72

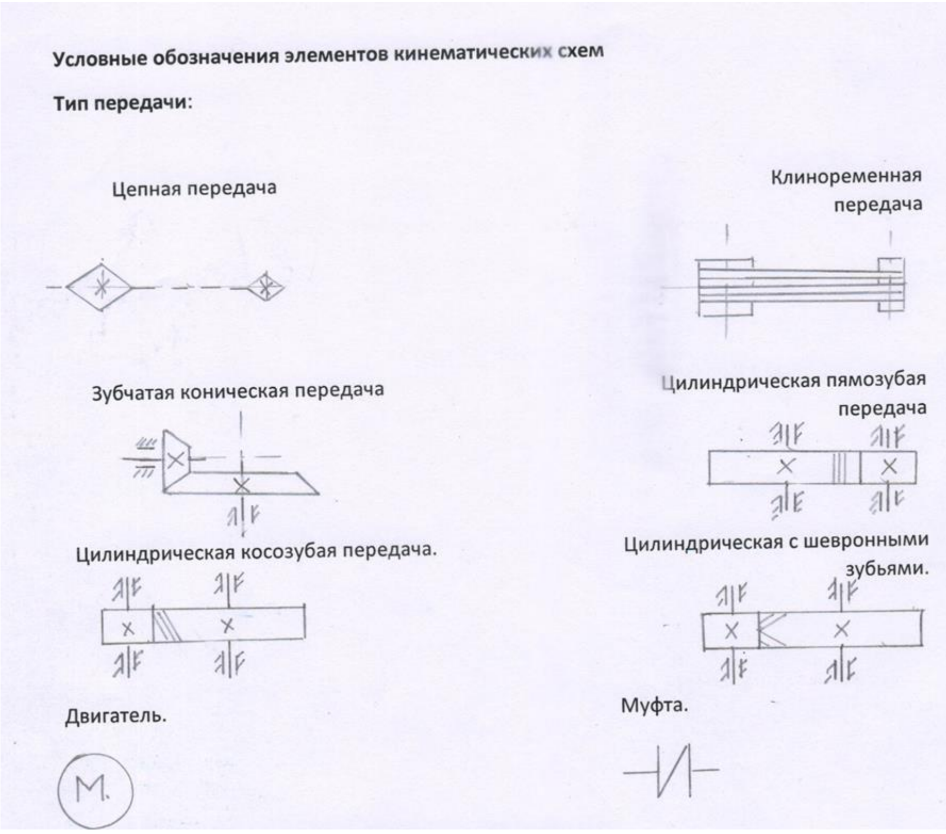
4. Передаточное число определяется по формуле:

$U = \omega_1/\omega_2 = n_1/n_2$

Для многоступенчатых передач общее передаточное число составляет:

$U_{общ} = U_1 * U_2 * \ldots U_n$

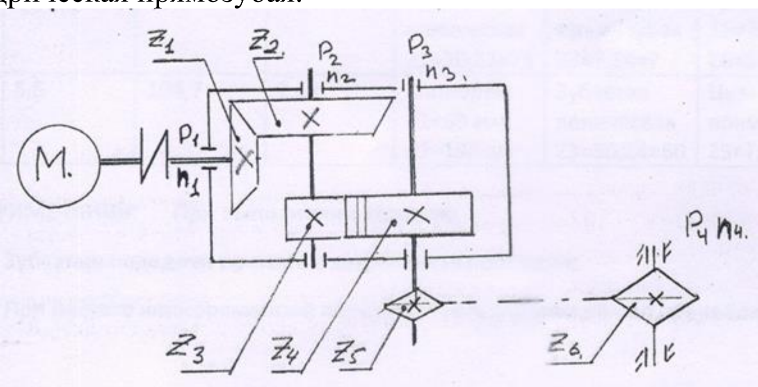
Где U1, U2 , Un передаточное число отдельных ступеней.



.

Пример составления кинематической схемы привода :

Исходные данные: Привод ленточного транспортера состоит из двухступенчатого закрытого редуктора , Электродвигателя марки 4А160 S4 P=11кВт n= 1500 об/мин., ведущий вал редуктора соединен с двигателем нерасцепляемой муфтой , вал трнспортера соединен с выходным валом редуктора цепной передачей. Редуктор состоит: первая передача зубчатая коническая, вторая передача цилиндрическая прямозубая.



Задание для самостоятельного расчета:

Согласно варианту табл. 2, составить кинематическую схему, сделать кинематический и силовой расчет трехступенчатого привод

Табл. 2

Вар.	Двигатель Мощность Рдв, кВт	Двигатель Углов. Ск. ωдв, c^{-1}	Выходной вал. Углов. Ск. ωвых, c^{-1}	1 ступень	2 ступень	3 ступень	Соединение привода с двигателем
1	4,00	314	3,27	Зубчатая коническая Z_1=40;Z_2=80	Цилиндр. прямозубая Z_3=?;Z_4=?	Цепная Z_5=18 Z_6=108	муфта
2	5,5	314	4,98	Цилиндр. прямозубая	Цилиндр. косозубая	Клинорем. d_5=63 мм	муфта

				Z_1=34;Z_2=85	Z3=?;Z4=?	d_6=252мм	
3	7,5	314	3,99	Клинорем. d_1=63 мм d_2=199мм	Цилиндр. косозубая Z3=?;Z4=?	Цепная Z5=22 Z6=110	муфта
4	11,0	314	5,0	Зубчатая коническая Z1=40;Z2=80	Цилиндр. прямозубая Z3=?;Z4=?	Цепная Z5=20 Z6=63	муфта
5	4,00	157	2,5	Цилиндр. косозубая Z1=30;Z=60	Цилиндр. прямозубая Z3=15;Z4=75	Цепная Z5=? Z6=?	муфта
6	5,5	157	2,0	Цепная Z5=20 Z6=80	Цилиндр. косозубая Z3=?;Z4=?	Клинорем. d5=50 мм d6=311,5мм	муфта
7	7,5	157	2,49	Цилиндр. прямозубая Z1=30;Z2=75	Цилиндр. косозубая Z3=10;Z4=63	Цепная Z5=? Z6=?	муфта
8	11,0	157	1,64	Клинорем. d1=? мм d2=?мм	Зубчатая коническая Z3=10;Z4=80	Цилиндр. прямозубая Z5=20;Z6=120	муфта
9	4,00	104,7	6,64	Зубчатая коническая Z1=30;Z2=75	Цилиндр. прямозубая Z3=?;Z4=?	Цепная Z5=29 Z6=58	муфта
10	5,5	104,7	2,64	Клинорем. d1=63 мм d2=198мм	Зубчатая коническая Z3=30;Z4=60	Цилиндр. прямозубая Z5=?;Z6=?	муфта

ПРИМЕЧАНИЯ: При выполнении задания: 1. Зубчатые передачи принять в закрытом исполнении;
2. При расчете клиноременной передачи скольжением рамня пренебречь.
Последовательность выполнения работы:
1. Определить вид привода, назвать передачи в порядке расположения ступеней, составить кинематическую схему.
2. Определить общее передаточное число;
Uпривода = ωдв/ωвых = u1 u2 u3
3. Определить общий КПД привода;
КПД привода = КПД1х КПД2х КПД3 (принять из табл.1)
4. Определить передаточные числа каждой ступени;
U1 = z2 / z1;   U3 = z6 / z5;   U2 = Uпр / U1U3;
5. Определить угловые скорости на всех валах привода, c^{-1};
ωдв=ω1;   ω2 = ω1/u1;   ω3 = ω2/u2; ;   ω4 = ω3/u3;
6. Определить частоту вращения двигателя и выходного вала, об/мин;
nдв =30ωдв/π;   nвых. =30ωвых/π;
7. Определить мощность на всех валах, кВт;
p1=pдв ;   p2=p1 *КПД1;   p3= p2 * КПД2;   pвых=p3 * КПД3;
8. Определить вращающие моменты на всех валах привода, кНм;
M1=pдв /ωдв;
M2= M1* U1* КПД1;   и т.д.
9. Выполнить проверку по формулам 1 и 2:
1. M вых =(pдв/ωдв)* КПДпр*Uпр , кНм;   2. Mвых = pвых / ωвых, кНм;
10. Результаты оформить в таблицу:

Передаточное число U	Мощность на валу, кВт	Момент на валу, кНм	КПД привод	Частота Вращения, об/мин.

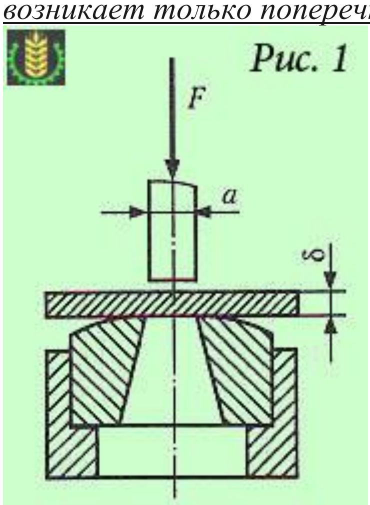
1ст.	2ст.	3ст.	привод	Р1	Р2	Р3	Рвых.	М1	М2	М3.	Мвых		Дв.	Вых.

ВЫВОД.

Практическая работа № 6

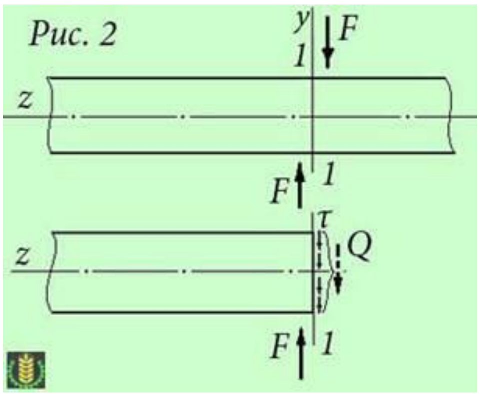
Тема: Решение задач на тему **с**рез и смятие
Цель работы: научиться решать практические задачи на тему срез и смятие.
Ход работы:
1. Изучить теория.
2. Решить задачи.
3. Оформить работу.
4. Написать вывод.

Краткая теория:
Напряжения при сдвиге
Сдвигом называют такой вид деформации, при которой в любом поперечном сечении бруса возникает только поперечная сила.



Деформацию сдвига можно наблюдать, например, при резке ножницами металлических полос или прутков, при пробивании отверстия в заготовках на штампе *(рис. 1)*.
Рассмотрим брус площадью поперечного сечения *A*, перпендикулярно оси которого приложены две равные и противоположно направленные силы *F*; линии действия этих сил параллельны и находятся на относительно небольшом расстоянии друг от друга.
Для определения поперечной силы *Q* применим метод сечений *(рис. 2)*.
Во всех точках поперечного сечения действуют распределенные силы, равнодействующую которых определим из условия равновесия оставленной части бруса:
$\Sigma Y = 0$ » $F - Q = 0$,
откуда поперечная сила *Q* может быть определена, как:
$Q = F$.
Поперечная сила есть равнодействующая внутренних касательных сил в поперечном сечении бруса при сдвиге.

Очевидно, что при сдвиге в поперечном сечении возникают только касательные напряжения τ.



Предполагаем, что эти касательные напряжения равномерно распределены по сечению, и, следовательно, могут быть вычислены по формуле:
$\tau = Q / A$.
На основании полученной формулы можно сделать вывод, что форма сечения на величину напряжения при деформации сдвига не влияет.
***
Расчеты на прочность при сдвиге
Условие прочности детали конструкции заключается в том, что наибольшее напряжение, возникающее в ней (рабочее напряжение), не должно превышать допускаемое. Расчетная формула при сдвиге:
$\tau = Q / A \le [\tau]$
читается следующим образом: *касательное напряжение при сдвиге не должно превышать допускаемое*. *(при обозначении предельно допустимых напряжений применяют квадратные скобки: [τ] или [σ])*
По этой расчетной формуле проводят проектный и проверочный расчеты и определяют допускаемую нагрузку.
Деформация сдвига, доведенная до разрушения материала, называется срезом (применительно к металлам) или *скалыванием* (применительно к неметаллам). Допускаемое напряжение на срез выбирают для пластичных материалов в зависимости от предела текучести.
В машиностроении для штифтов, болтов, шпонок и других деталей, работающих на срез принимают $[\tau_{ср}] = (0{,}25\ldots0{,}35)\ \sigma_т$, где $\sigma_т$ – предел текучести материала изделия.
При расчетах на срез в случае, если соединение осуществляется несколькими одинаковыми деталями (болтами, заклепками и т. д.), полагают, что все они нагружены одинаково. Расчеты соединений на срез обычно сопровождают проверкой прочности этих соединений на смятие.
Деформация Гука при сдвиге
Для установления параметров, характеризующих деформацию при сдвиге, рассмотрим элемент бруса в виде параллелепипеда *abcd*, на грани которого действуют только касательные напряжения *τ*, а противоположную грань параллелепипеда представим жестко защемленной *(рис. 3)*.

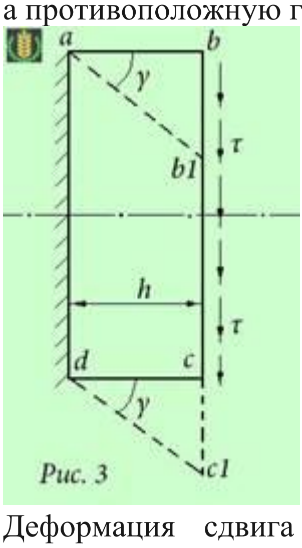


Рис. 3

Деформация сдвига в указанном элементе заключается в перекашивании прямых углов параллелепипеда за счет поступательного перемещения грани *bc* по отношению к сечению, принятому за неподвижное.
Деформация сдвига характеризуется углом *γ (гамма)* и называется *углом сдвига*, или *относительным сдвигом*. Величина bb_1, на которую смещается подвижная грань относительно неподвижной, называется *абсолютным сдвигом*.
Относительный сдвиг γ выражается в радианах.
Напряжения и деформации при сдвиге связаны между собой зависимостью, которая называется закон Гука при сдвиге.
Закон Гука при сдвиге справедлив лишь в определенных пределах нагрузок и формулируется так: *касательное напряжение прямо пропорционально относительному сдвигу*.
Математически закон Гука для деформации сдвига можно записать в виде равенства:

$\tau = G\,\gamma$.

Коэффициент пропорциональности G характеризует жесткость материала, т. е. способность сопротивляться упругим деформациям при сдвиге, и называется *модулем сдвига* или *модулем упругости второго рода*.

Модуль упругости выражается в паскалях; для различных материалов его величина определена экспериментально и ее можно найти в специальных справочниках.

При проведении ответственных расчетов на срез величина модуля упругости для каждого соединения определяется опытным путем, непосредственно перед расчетом, либо берется из справочника с применением увеличенного запаса прочности.

Следует отметить, что между тремя упругими постоянными (модулями упругости) E, G и ν существует следующая зависимость:

$G = E / [2(1 + \nu)]$.

Принимая для сталей $\nu \approx 0,25$, получаем: $G_{ст} \approx 0,4\ E_{ст}$.

Виды расчётов из условий прочности

1. Проверочный.
2. Проектный – определение числа соединительных деталей при заданных размерах или определение размеров детали при заданном их числе.
3. Определение допускаемой нагрузки.

Смятие

1. При сжатии двух тел возникает опасность *смятия* контактирующих поверхностей.
2. *Напряжение смятия* – напряжение, возникающее при сжатии двух контактирующих поверхностей.
3. Пример смятия: клёпаные и болтовые соединения.
4. Формула для расчёта напряжения смятия

$\sigma_{см}=F\backslash A_{см}$

5. Условие прочности на смятие

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

F– сила, с которой сдавливаются контактирующие поверхности

$A_{см}$– площадь смятия

5. Если поверхность смятия криволинейная, то $A_{см}$=A проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную линии действия сминающей силы.
6. Расчёты на смятии носят условный характер: считают, что силы давления распределены по поверхности смятия равномерно и перпендикулярны ей.

Задание:

Вариант 1:

1. Проверить прочность заклепочного соединения (рис.2.1 а), если $[\tau_{ср}]$ =100Н/мм^2, $[\sigma_{см}]$=240 Н/мм^2, $[\sigma_р]$=140Н/мм^2.
2. По данным предыдущей задачи выяснить, будет ли достаточна прочность листов и накладок, если изменить расположение заклепок: по линии I-I разместить четыре заклепки, а по линии III-III-две.

Вариант 2:

1. Проверить прочность заклепочного соединения (рис.2.4) если $[\sigma]$=140 Н/мм^2, $[\tau_{ср}]$ =100Н/мм^2, $[\sigma_{см}]$=240 Н/мм^2
2. По данным предыдущей задачи выяснить, допустимо ли уменьшение диаметра заклепок до 17 мм.

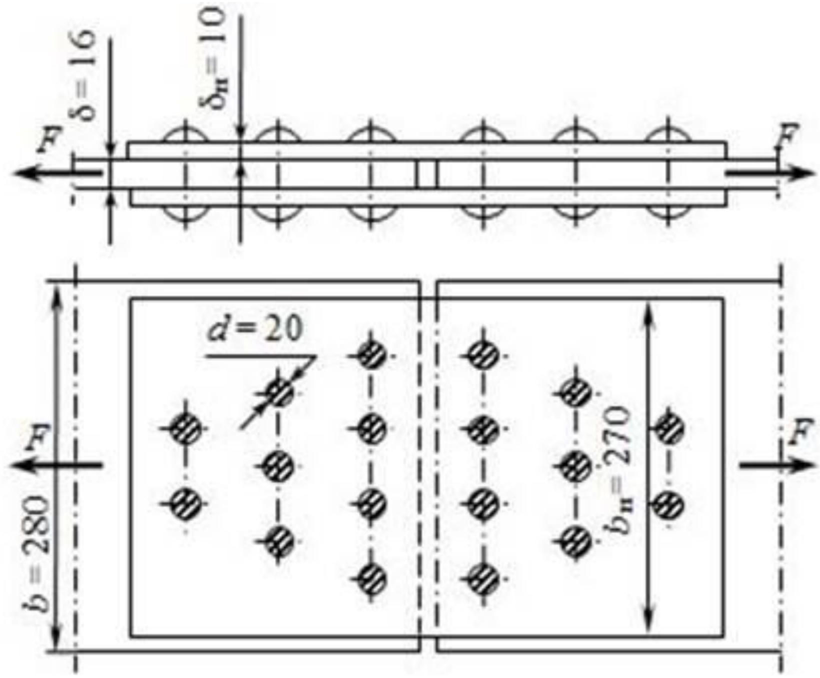
Вариант 3:

1. Проверить прочность заклепочного соединения (рис.2.2), если $[\sigma]$=160 Н/мм^2, $[\tau_{ср}]$=140Н/мм^2, $[\sigma_{см}]$=280Н/мм^2.
2. Определить необходимое число заклепок для прикрепления угольников к фасонке (рис.2.5), если диаметр заклепок d=17мм, материал заклепок сталь Ст2 $[\tau_{ср}]$ =140Н/мм^2, $[\sigma_{см}]$=280Н/мм^2. Вычислить $\tau_{ср}$ и $\sigma_{см}$ при принятом числе заклепок.

Вариант 4:

1. Определить число заклепок диаметром d=14мм (рис.2.6), если $[\tau_{ср}]$ =140Н/мм^2 и $[\sigma_{см}]$=320Н/мм^2. Вычислить $\tau_{ср}$ и $\sigma_{см}$ при принятом числе заклепок.

2. Проверить прочность заклепочного соединения (рис. 3.11) если $F = 550$ кН; $[\tau_{ср}]$ = 100 Н/мм^2; $[\sigma_{см}]$ = 240 Н/мм^2; $[\sigma_{р}]$ = 140 Н/мм^2.



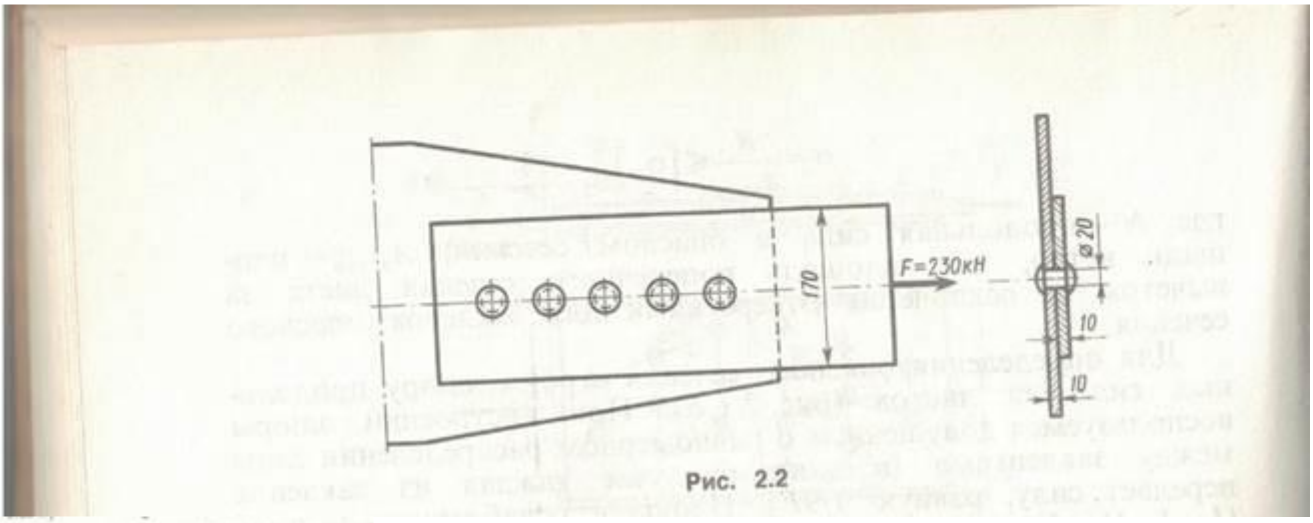


Рис. 2.2

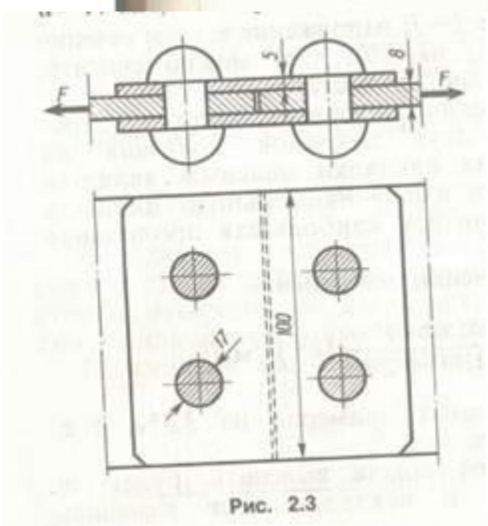
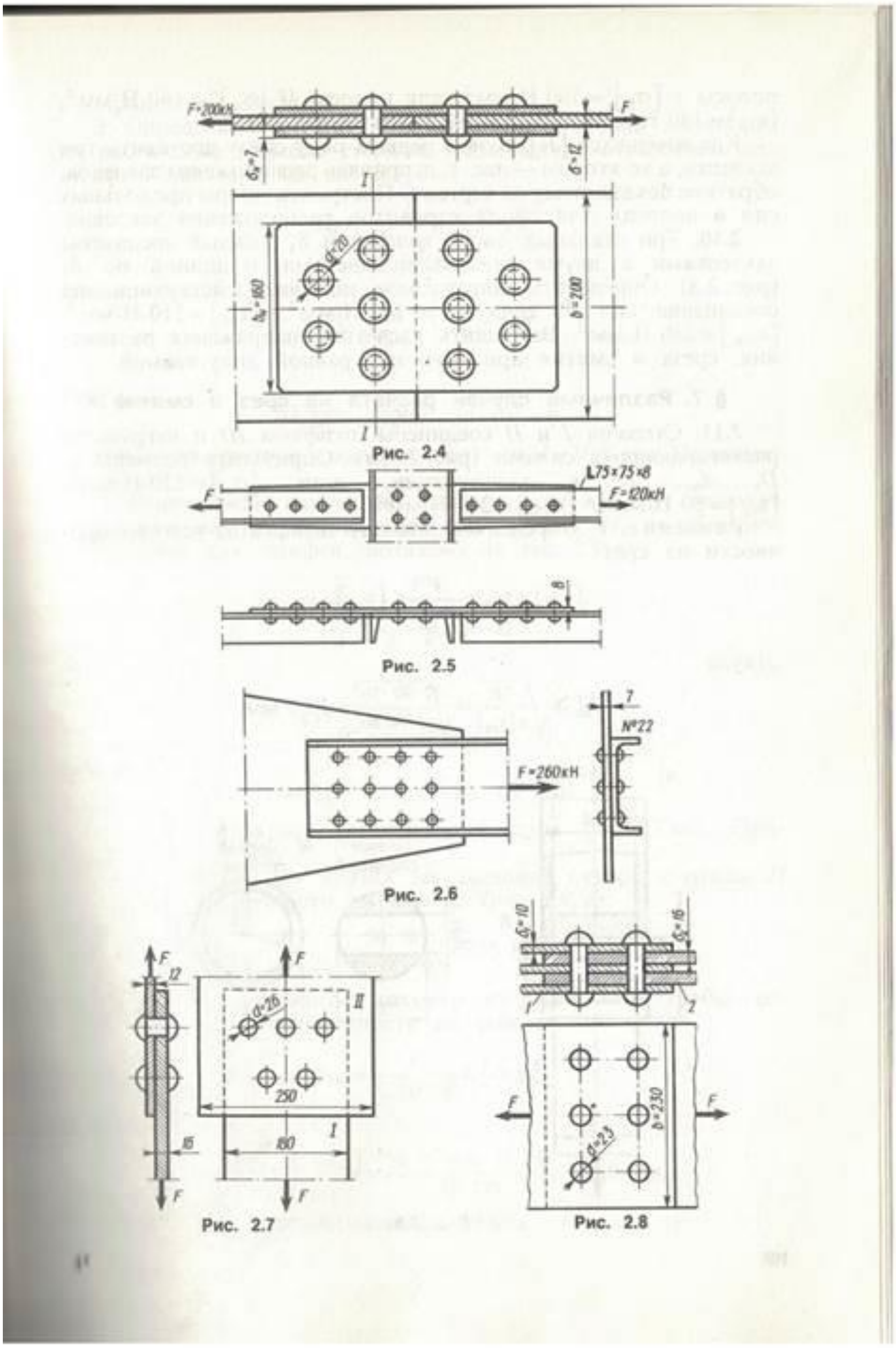


Рис. 2.3



Практическая работа №7

Тема: Эпюры продольных сил, нормальных напряжений и абсолютных удлинений/укорочений

Цель работы: изучить тему, научиться строить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и абсолютных удлинений/укорочений.

Ход работы:

1. Изучить теорию.
2. Построить эпюры.
3. Оформить работу.
4. Написать вывод.

Краткая теория:

Продольные силы в поперечных сечениях

Под *растяжением (сжатием)* понимают такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникают только продольные силы N, а прочие силовые факторы (поперечные силы, крутящий и изгибающий моменты) равны нулю.
Это самый простой и часто встречающийся вид деформации. Обычно он наблюдается когда внешняя нагрузка действует вдоль продольной оси стержня. *Продольной осью* стержня называется линия, проходящая через центры тяжести поперечных сечений.
Обычным является растяжение стержня силами, приложенными к его концам. Передача усилий к стержню может быть осуществлена различными способами, как это показано на рис.1.

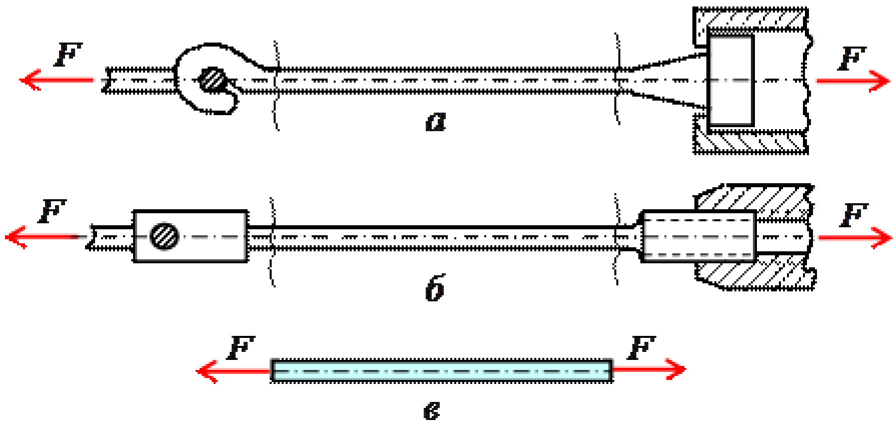


Рис. 1

Во всех случаях, однако, система внешних сил образует равнодействующую F, направленную вдоль оси стержня. Поэтому независимо от условий крепления растянутого стержня, расчетная схема в рассматриваемых случаях (рис. 1, *а, б*) оказывается единой (рис. 1, *в*) согласно принципу Сен – Венана.
Если воспользоваться методом сечений (рис. 2.), то становится очевидным, что во всех поперечных сечениях стержня возникают нормальные силы N_z, равные силе F (рис. 2, *б*).
Сжатие отличается от растяжения, формально говоря, только знаком силы N_z. При растяжении нормальная сила N_z направлена от сечения (рис. 2, *б*), а при сжатии – к сечению.

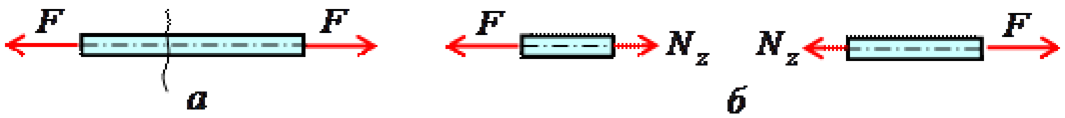


Рис. 2

Растягивающие продольные силы принято считать положительными **(рис. 3, *а*), *а сжимающие – отрицательными* (рис. 3, *б*).**

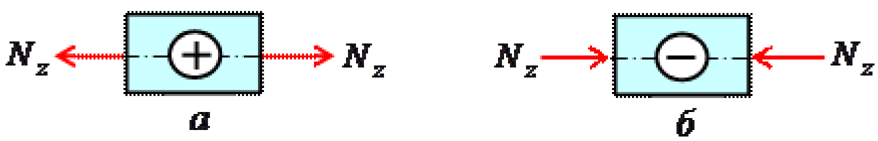


Рис. 3

Продольные силы (N_z), возникающие в поперечных сечениях стержня, определяются по внешней нагрузке с помощью метода сечений.
График, показывающий изменение продольных сил по длине оси стержня, называется *эпюрой продольных сил* (эп. N_z). Он дает наглядное представление о законе изменения продольной силы.
Осью абсцисс служит ось стержня. Каждая ордината графика – продольная сила (в масштабе сил) в данном сечении стержня.
Эпюра позволяет определить, в каком сечении действует максимальное внутреннее усилие (например, найти N_{max} при растяжении-сжатии). Сечение, где действует максимальное усилие будем называть *опасным*.

Необходимо установить границы участков, в пределах которых закон изменения внутренних сил постоянный. Границами таких участков являются сечения, где приложены сосредоточенные силы или начинается и кончается распределенная нагрузка, а также сечения, где имеется перелом стержня.

Применяя метод сечений и учитывая правила знаков изложенные выше, получаем уравнения изменения внутренних сил в пределах длины каждого участка бруса. Затем, используя, полученные зависимости строим графики (эпюры) этих усилий. Ординаты эпюр в определенном масштабе откладываем от базисной линии, которую проводим параллельно оси бруса.

Таким образом, на основании метода сечений *продольная сила в произвольном поперечном сечении стержня численно равна алгебраической сумме проекций внешних сил, приложенных к стержню по одну сторону от рассматриваемого сечения, на его продольную ось.*

Причем проекция внешней силы берется со знаком плюс, если сила растягивает часть стержня от точки ее приложения до рассматриваемого сечения и, наоборот, со знаком минус – если сжимает.

Пример 1.

Пусть имеется стержень постоянного поперечного сечения, нагруженный силами $2P$ и $3P$ вдоль продольной оси стержня, показанный на рис.5. Определить величину внутренних сил.

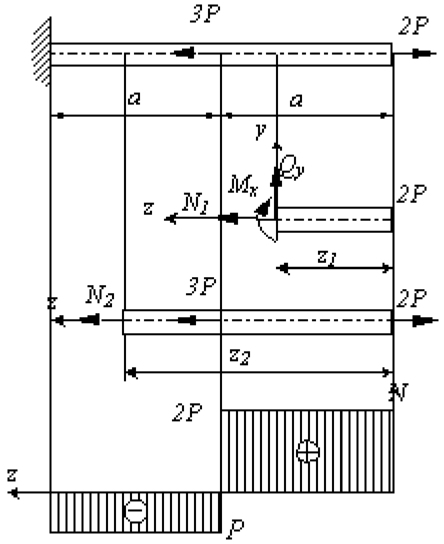


Рис.5.

Решение.

Стержень может быть разделен на два участка, граничными точками которых являются точки приложения сосредоточенных сил и точка закрепления. Если начало координат расположить на правом конце стержня, а ось z направить справа налево, то, используя метод сечений, рассекая последовательно участки, отбрасывая левую часть, заменяя ее действие внутренними усилиями N, Q_y, M_x и уравновешивая оставшуюся часть, получим:

I участок: $0 \le z_1 \le a$

$\Sigma z = 0, \quad N_1 = 2P;$

$\Sigma y = 0, \quad Q_y = 0;$

$\Sigma m_x = 0, \quad M_x = 0$

Как видно, *при растяжении в поперечных сечениях стержня возникает только один внутренний силовой фактор - нормальная сила N.*

II участок: $a \le z_2 \le 2a$

$\Sigma z = 0, \quad N_2 = 2P - 3P = P.$

Таким образом, нормальная сила равна алгебраической сумме проекций сил, приложенных к отсеченной части на продольную ось $N = \sum P_{iz}$.

Полученные результаты для большей наглядности удобно представить в виде графика, (эпюры N), показывающего изменение продольной силы вдоль оси стержня (рис.2.4.1). Построим на первом участке линию параллельную оси z на высоте $2P$, на втором участке – линию со значением $-P$. Области ограниченные графиком и осью z принято штриховать и обозначать знак этой области.

Видно, что наибольшая продольная сила возникает на первом участке стержня и, как следствие, при прочих равных условиях, он скорее может разрушиться, чем второй участок.

Напряжение в поперечных сечениях стержня

Нормальная сила N приложена в центре тяжести сечения, является равнодействующей внутренних сил в сечении и, в соответствии с этим, определяется следующим образом:

$$N = \int_A \sigma dA.$$

Но из этой формулы нельзя найти закон распределения нормальных σ напряжений в поперечных сечениях стержня. Для этого обратимся к анализу характера его деформирования.

Если на боковую поверхность этого стержня нанести прямоугольную сетку (рис. 2.2, *б*), то после нагружения поперечные линии *a-a, b-b* и т.д. переместятся параллельно самим себе, откуда следует, что все поверхностные продольные волокна удлинятся одинаково. Если предположить также, что и внутренние волокна работают таким же образом, то можно сделать вывод о том, что поперечные сечения в центрально растянутом стержне смещаются параллельно начальным положениям, что соответствует *гипотезе плоских сечений (гипотезе Бернулли)*.

Значит, все продольные волокна стержня находятся в одинаковых условиях, а следовательно, нормальные напряжения во всех точках поперечного сечения должны быть также одинаковы и равны

$$\sigma = \frac{N}{A}, \qquad (2.2)$$

где A - площадь поперечного сечения стержня.

В сечениях, близких к месту приложения внешних сил, гипотеза Бернулли нарушается: сечения искривляются, и напряжения в них распределяются неравномерно. По мере удаления от сечений, в которых приложены силы, напряжения выравниваются, и в сечениях, удаленных от места приложения сил на расстояние, равное наибольшему из размеров поперечного сечения, напряжения можно считать распределенными по сечению равномерно. Это положение, называемое *принципом Сен-Венана,* позволяет при определении напряжений в сечениях, достаточно удаленных от мест приложения внешних сил, не учитывать способ их приложения, заменять систему внешних сил статически эквивалентной системой. Например, экспериментально установлено, что во всех трех случаях нагружения стержня (рис. 5, *а*) значения напряжений в сечениях, удаленных от крайних сечений на расстояние не менее высоты сечения h, одинаковы: $\sigma = \frac{N}{A}$ (рис. 5, *б*), а в сечениях, близких к местам приложения внешних сил, распределения напряжений по сечению существенно различны (рис. 5, *в*).

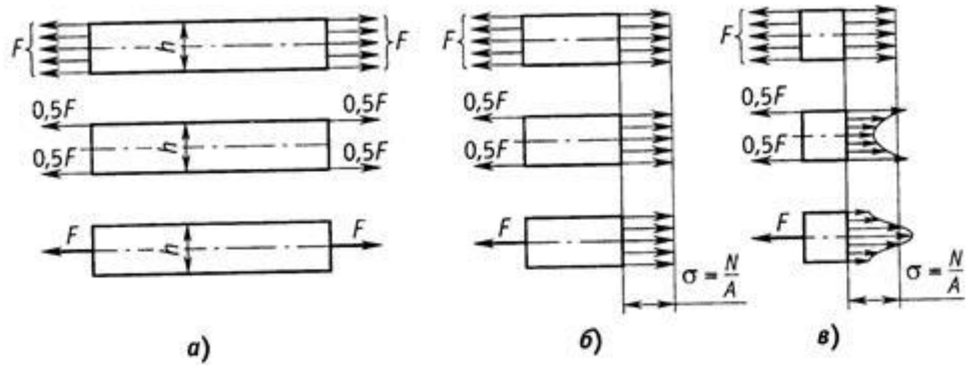


Рис.5

Высказанное предположение о равномерном распределении нормальных напряжений в поперечном сечении справедливо для участков, достаточно удаленных от мест: резкого изменения площади поперечного сечения (рис. 5, *в*); скачкообразного изменения внешних нагрузок; скачкообразного изменения физико-механических характеристик конструкций.

Нормальные напряжения при сжатии определяют также, как и при растяжении, но считают отрицательными.

Деформации и перемещения. Закон Гука

Рассмотрим однородный стержень с одним концом, жестко заделанным, и другим - свободным, к которому приложена центральная продольная сила P (рис. 6). До нагружения стержня его длина равнялась l - после нагружения она стала равной $l + \Delta l$ (рис. 6). Величину Δl называют *абсолютной продольной деформацией (абсолютным удлинением)* стержня. В большинстве случаев оно мало по сравнению с его первоначальной длиной l ($\Delta l << l$).

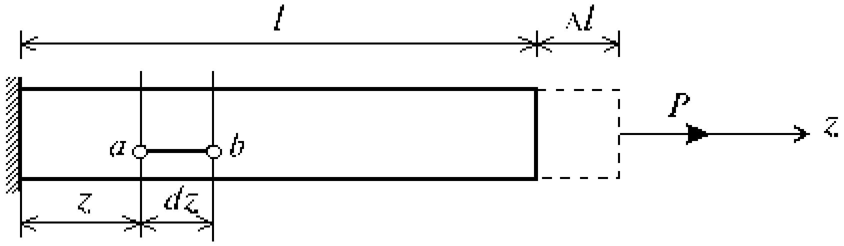


Рис. 6

Если в нагруженном стержне напряженное состояние является однородным, т.е. все участки стержня находятся в одинаковых условиях, деформация ε остается одной и той же по длине стержня и равной

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}. \qquad (2.4)$$

Величина ε называется *относительной продольной деформацией.*

Если же по длине стержня возникает неоднородное напряженное состояние, то для определения его абсолютного удлинения необходимо рассмотреть бесконечно малый элемент длиной dz (рис. 2.8). При растяжении он увеличит свою длину на величину Δdz и его деформация составит:

$$\varepsilon = \frac{\Delta dz}{dz}. \qquad (2.5)$$

В пределах малых деформаций при простом растяжении или сжатии закон Гука записывается в следующем виде (*нормальные напряжения в поперечном сечении прямо пропорциональны относительной линейной деформации* ε):

$$\sigma = E\varepsilon. \qquad (2.6)$$

Величина E представляет собой коэффициент пропорциональности, называемый *модулем упругости материала первого рода* (*модуль продольной упругости*). Его величина постоянна для каждого материала. Он характеризует жесткость материала, т.е. способность сопротивляться деформированию под действием внешней нагрузки.

Из совместного рассмотрения уравнений (2.5) и (2.6) получим:

$$\Delta dz = \sigma \frac{dz}{E},$$

откуда с учетом того, что

$$\sigma = \frac{N_z}{A} \quad \text{и} \quad \Delta l = \int_0^l \Delta dz,$$

окончательно получим:

$$\Delta l = \int_0^l \frac{N_z dz}{EA}. \qquad (2.7)$$

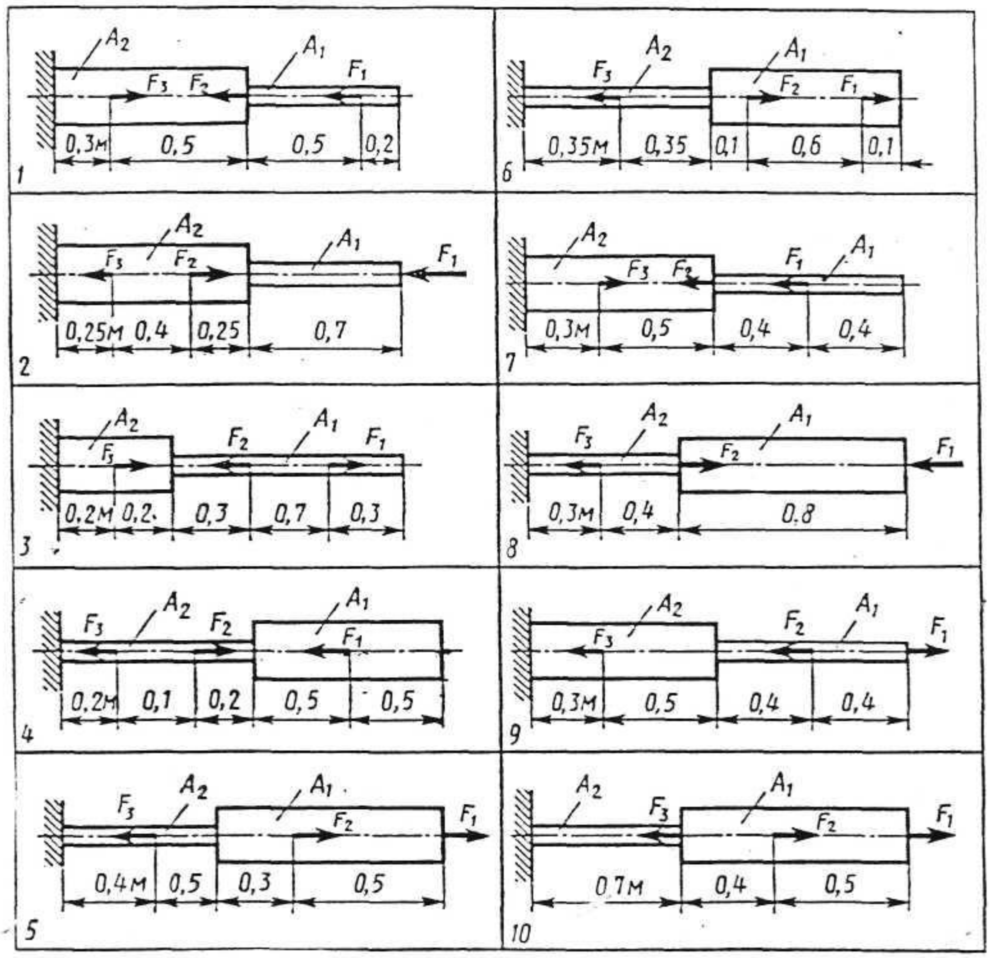
Если стержень изготовлен из однородного изотропного материала с $E = const$, имеет постоянное поперечное сечение $A = const$ и нагружен по концам силой P, то из (2.7) получим

$$\Delta l = \frac{Pl}{EA}. \qquad (2.8)$$

Зависимость (2.8) также выражает закон Гука. Знаменатель EA называется *жесткостью при растяжении - сжатии* или *продольной жесткостью.*

Задача №1.

Построить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и абсолютного удлинения/укорочения. Данные для своего варианта взять из таблицы. $E=115\cdot10^9$Па.

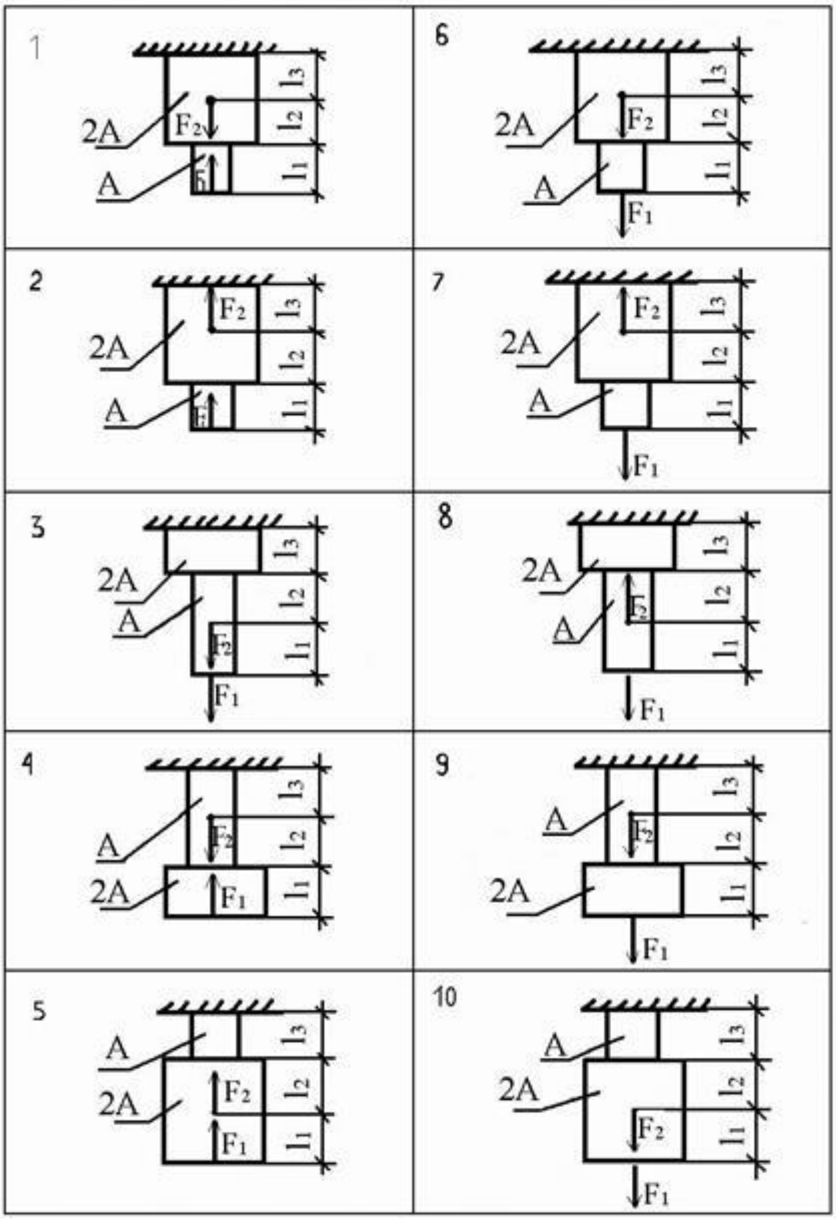


Номер варианта	Номер схемы	F_1, кН	F_2, кН	F_3, кН	A_1, см^2	A_2, см^2
1	1	10	16	12	5	8
2	2	6	14	8	1,2	3,5
3	3	5	10	14	4	9
4	4	12	14	8	12	7
5	5	14	17	9	10	5
6	6	25	12,5	15	13	15
7	7	36	8	22	5	7
8	8	15	6	26	2	8
9	9	2	8	5	4	6
10	10	7	17	9	8	10
11	1	9	13	17	9	4
12	2	7,5	10	6,8	10	5
13	3	6,8	11	12	13	7
14	4	2,4	5	7	15	18
15	5	3	9	4	17	12
16	6	12	3	5	1,9	2,8
17	7	13	17	22	4,5	5,5
18	8	18	21	30	15	11
19	9	19	14	23	7	10
20	10	20	26	32	12,5	8,5
21	1	6	32	15	10	6
22	2	7	40	20	8	12
23	3	22	10	17	16	9

24	4	28	5	16	3	8
25	5	32	8	24	15	10
26	6	14	9	5	4	7
27	7	23	18	12	12	10
28	8	24	3,5	18	10	5
29	9	10	4,2	9	8	4
30	10	2	12	8	3	5,8

Задача №2 $E=2\cdot10^6$ МПа

Номер варианта	Номер схемы	A, $см^2$	F_1, кН	F_2, кН	L_1, м	L_2, м	L_3, м
1	1	10	10	18	1	1,2	2,2
2	2	12	15	10	0,8	0,5	1,3
3	3	14	20	36	1,4	2	1
4	4	18	36	42	0,4	0,6	0,8
5	5	12	25	36	1,4	0,5	0,1
6	6	5	9	12	0,8	0,6	0,3
7	7	4	2	8	1,2	1,5	0,8
8	8	2,5	8	5	3	2,5	1,5
9	9	3	5	2	0,8	0,2	1,2
10	10	7	5	12	1	1	1,5
11	1	4	6	10	0,2	0,7	1
12	2	10	40	27	1,8	2,4	3
13	3	1,5	8	16	0,5	0,5	0,5
14	4	4,6	4	6	0,2	0,4	0,4
15	5	2	10	14	1,2	1,9	2
16	6	7	6	13	1,2	0,8	1
17	7	9	12	7	1,5	1,2	1,3
18	8	10	25	17	2,2	1,8	2
19	9	2,8	9	15	1	1	1
20	10	3,2	10	16	0,4	0,7	1,3
21	1	4	14	10	0,6	1	0,8
22	2	5,5	13	5	1,2	0,6	1
23	3	2	8	4	1	0,5	0,5
24	4	12	29	19	2,2	2,1	2
25	5	8,5	23	28	1,4	0,8	1
26	6	5	8	14	0,3	0,2	0,1
27	7	6	12	8	0,5	0,8	1
28	8	3,7	10	4	0,1	0,5	0,7
29	9	12	36	25	1	1,2	0,6
30	10	2,8	12	7	0,4	0,6	1,4



Задача №3

$E=3{,}1\cdot10^{9}$Па

Номер варианта	Номер схемы	A_1, см^2	A_2, см^2	F_1, кН	F_2, кН
1	31	1	4	10	12
2	32	2	8	15	19
3	33	3	5	23	28
4	34	5	2	22	18
5	35	7	10	12	8
6	36	8	6	4	9
7	37	9	11	6	9
8	38	11	7	12	17
9	39	2,5	5	3	6
10	40	3.8	7	5	8
11	31	1.2	2.5	12	8
12	32	4	2.2	10	8,5
13	33	5	8	8	4
14	34	12	8	7	5
15	35	2.2	5.5	6	3,6
16	36	3.4	2.2	5	11

17	37	5	3	4	10
18	38	8	2	3	1,5
19	39	10	12	8,5	5
20	40	12	6	14	8
21	31	2.4	6.5	6,6	14,5
22	32	4	2	8	4
23	33	1.5	3.2	8	3,6
24	34	1.8	2.8	10	4,5
25	35	3	4	6	5
26	36	6	9	7	12
27	37	2.2	1.2	3,8	16
28	38	12	9	9	17
29	39	2.4	2.8	12	8
30	40	4	2.2	13	10

Практическая работа №8

Тема: Расчет напряжения, возникающего в конструкциях, работающих на срез и смятие

Цель занятия: Закрепить теоретический материал по последовательности расчетов на срез и смятие.

Ход работы:

1. Ознакомиться с заданиями и методическими указаниями по их выполнению.
2. Выполнить расчеты.
3. Выполнить задание по определению, исходя из условий прочности на срез и смятие, необходимый диаметр болта в соединении.

Рис. а

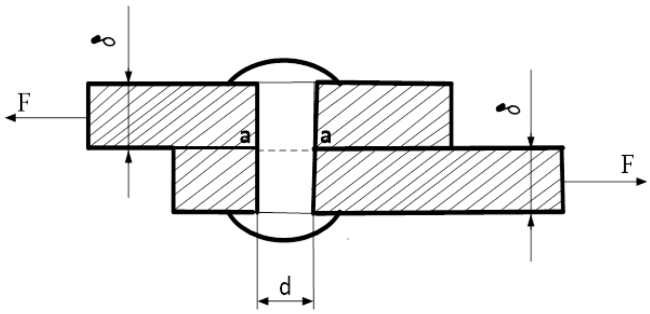
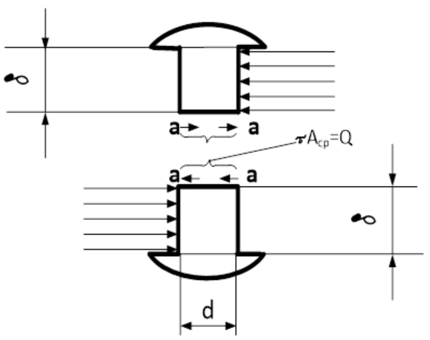


Рис. б



Краткие сведения

Срезом называется деформация, возникающая под действием двух близко расположенных противоположно направленных сил. При этом возникают касательные напряжения.

Примером элемента металлических конструкций, работающего на срез, служит заклёпка (рис.а). При некоторой величине действующих сил *F* стержень заклёпки может быть срезан по сечению *аа.* Силы *F* (рис. б) передаются путём давления стенок отверстия на стержень заклепки.

Чтобы найти напряжения, возникающие в сечении *аа* стержня заклёпки под действием сил *F*, применяется метод сечений. Рассечем мысленно стержень заклёпки на две части и рассмотрим условие равновесия одной из частей стержня (рис. б).

Со стороны листа на неё передаётся внешняя сила *F,* а по сечению *аа* действуют внутренние силы. Поперечная сила *Q*, возникающая в сечении *аа* уравновешивает внешнюю силу *F* и численно равна ей *Q*= *F*.

Приблизительно можно принять, что касательные напряжения распределяются по сечению равномерно

$$t = Q/ A_{ср}.$$

Условие прочности элементов работающих на срез, имеет вид

$$t = Q/ A_{ср} = \pounds\ [t_{ср}],$$ где

$A_{ср}$ – площадь среза,

Q – поперечная сила возникающая в сечении,

$[t_{ср}]$ - допускаемое касательное напряжение.

Величину допускаемого напряжения назначают на основании испытаний на срез. Обычно принимают $[t_{ср}] = (0,7 – 0,8)\ [d]$.

На стержень заклепки давление со стороны отверстия в листе передается по боковой поверхности полуцилиндра высотой, равной толщине листа d (рис.1а и 1б).

Рис. 1а.

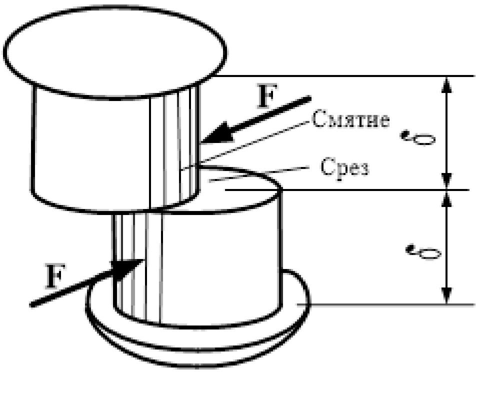


Рис. 1б.

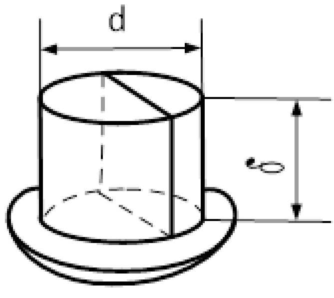
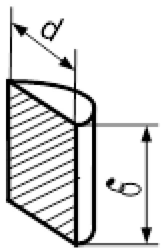


Рис. 1в.



Напряжения смятия распределены по поверхности неравномерно. Так как закон их распределения точно неизвестен, расчет ведут упрощенно, считая их постоянными по расчетной площади смятия.

Проверку элементов конструкции на смятие проводят по формуле

$$d_{см} = Q/ A_{см}\ £\ [d_{см}],$$ где

$A_{см}$ – площадь смятия,

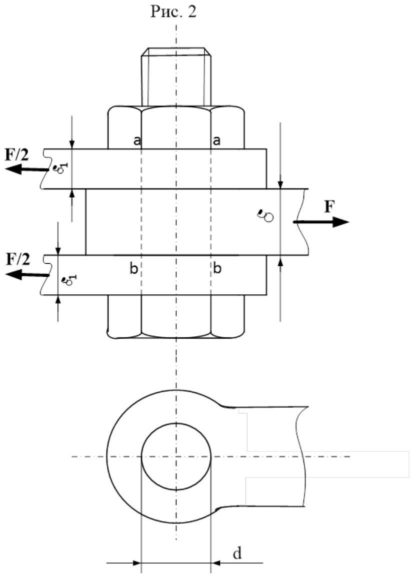
$[d_{см}]$ - допускаемое напряжение на смятие. Обычно принимают $[d_{см}] = (1,7\text{-}2,2)\ [d_{см}]$. Расчетные площади среза и смятия ($A_{ср}$ и $A_{см}$) вычисляются в каждом конкретном случае в зависимости от вида соединения и характера передаваемого усилия. Так, для заклепочного соединения на рис.1а и 1б площадь среза одной заклепки соответствует её поперечному сечению $A_{ср} = pd^2/4$. За площадь смятия заклепки условно принимается её диаметральное сечение под одним листом, то есть прямоугольник (рис. 1б и1в) Асм = dd.

Пример.

Определить, исходя из условий прочности на срез и смятие, необходимый диаметр болта в соединении, показанном на рис. 2, если d = 20 мм; d1 = 12 мм; допускаемые напряжения: [tср] = 100 Н/мм2; [dсм] = 240 Н/мм2; растягивающая сила F = 120кН. Болт установлен в отверстие без зазора.

Р е ш е н и е.

Рис. 2



Так как болт работает на срез одновременно по двум сечениям - aa и bb, то общая площадь среза составит

Acp = 2pd2/4 = pd2/2.

Поперечная сила в болте равна силе, растягивающей стык Q = F.

По условию прочности на срез имеем

Acp = pd2/2 ³ F[tcp],

Откуда получаем

d ³ $\sqrt{2}$ F/p[tcp] = 2 × 120 × 103/3,14 × 100 = 27,6 мм.

Согласно данным задачи 2d1 $> \delta$, поэтому опасной в отношении смятия является площадь смятия внутренней детали Acм = dδ.

Из условия прочности на смятие

Acм =F/ [dсм], или

dδ ³ F/ [dсм], отсюда

d ³ F/ d[dсм] = 120 × 103 / 20 × 240 = 25 мм.

Из двух значений диаметра d, найденных по условиям прочности на срез и смятие, следует принять большее, то есть d ³ **27,6 мм.**

З а д а н и е.

Определить, исходя из условий прочности на срез и смятие, необходимый диаметр болта в соединении, показанном на **рис. а**, если d = 35 мм; допускаемые напряжения: $[t_{ср}]$ = 120 Н/мм^2; $[d_{см}]$ = 280 Н/мм^2; растягивающая сила F = 220кН. Болт установлен в отверстие без зазора.

Практическое занятие №9

Тема: Определение осевых, центробежных и полярных моментов инерции

Цель работы: Формирование умений выполнять определение моментов инерции относительно главных осей

Моменты инерции простейших сечений

Прямоугольник и квадрат *(рис. П7.1)*

Осевые:

$\mathcal{J}_x$ — относительно оси xx $\mathcal{J}_x = \dfrac{bh^3}{12}$;

$\mathcal{J}_y$ — относительно оси yy $\mathcal{J}_y = \dfrac{hb^3}{12}$.

Полярный $\mathcal{J}_p = \mathcal{J}_x + \mathcal{J}_y$.

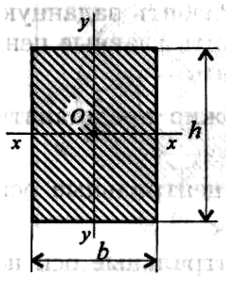


Рис. П7.1

Круг и кольцо (рис. 2)

Осевые: $\mathcal{J}_x = \mathcal{J}_y = \dfrac{\pi d^4}{64}$ — круг;

$\mathcal{J}_x = \mathcal{J}_y = \dfrac{\pi d^4}{64}(1 - c^4)$ — кольцо.

Полярный: $\mathcal{J}_p = \dfrac{\pi d^4}{32}$ — круг;

$\mathcal{J}_p = \dfrac{\pi d^4}{32}(1 - c^4)$ — кольцо,

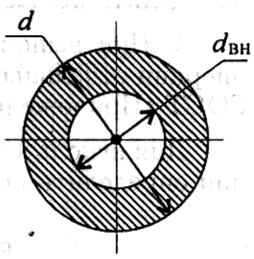


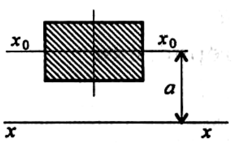
Рис. 1

где *d* — диаметр круга и наружный диаметр кольца;

d_{BH} — внутренний диаметр кольца; с = d_{BH}/d

Моменты инерции относительно параллельных осей (рис. 1)

$\mathcal{J}_x = \mathcal{J}_{x_0} + a^2 A$,



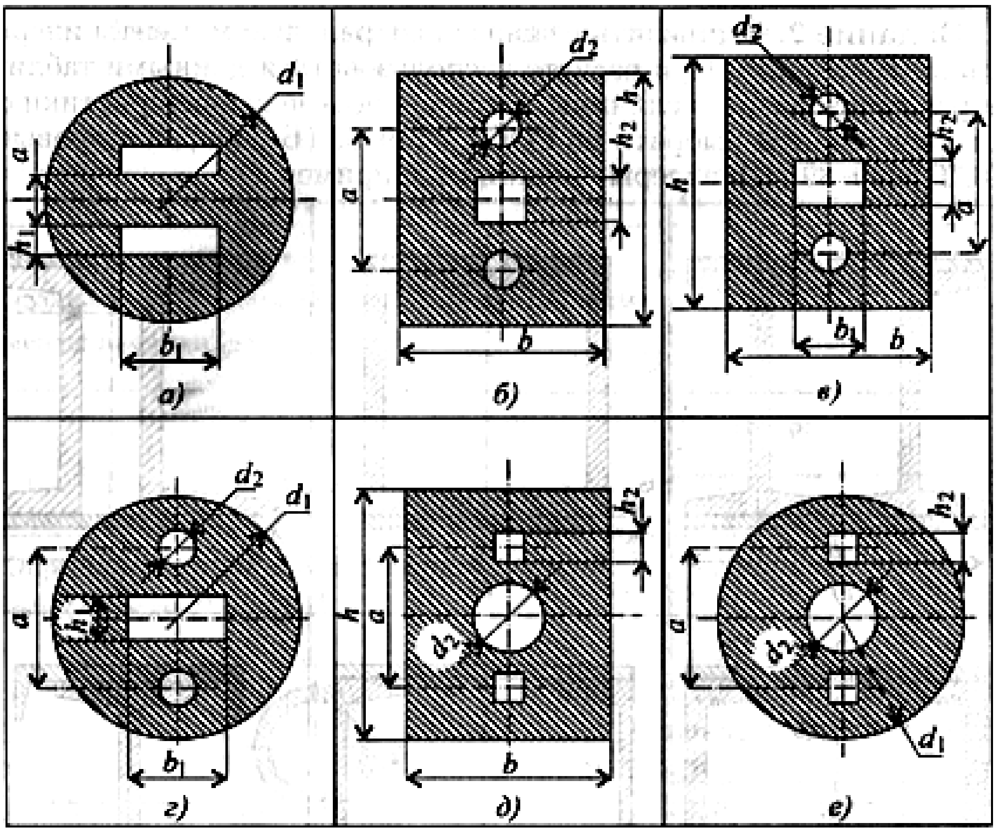
где Jx — момент инерции относительно оси *xx*,
J_{X_0} — момент инерции относительно оси x_0x_0;
A — площадь сечения; *a* — расстояние между осями.

Рис. 2

Рекомендации для решения задач расчетно-графической работы

1. Момент инерции сложной фигуры является суммой моментов инерции частей, на которые ее разбивают. Разбить заданную фигуру на простейшие части, для каждой определить главные центральные моменты инерции по известным формулам.
2. Моменты инерции вырезов и отверстий можно представить отрицательными величинами.
3. Заданные сечения симметричны, главные центральные оси совпадают с осями симметрии составного сечения.
4. Моменты инерции частей, чьи главные центральные оси не совпадают с главными центральными осями сечения в целом, пересчитывают с помощью формулы для моментов инерции относительно параллельных осей. Расстояние между параллельными осями определить по чертежу.

Задание 1. Вычислить главные центральные (полярные) моменты инерции сечений, представленных на схемах. При расчетах воспользоваться данными таблицы, выбрав необходимые величины (пример 1).



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_1, мм	72	80	88	96	98	72	76	88	96	104
d_2, мм	12	14	16	18	10	12	14	16	18	20
h, мм	72	80	88	96	98	72	76	88	96	104
b, мм	36	42	48	54	60	36	42	48	4	60
a, мм	48	52	56	60	58	48	48	56	60	64
h_1, мм	16	18	20	22	24	16	18	20	22	24
b_1, мм	32	36	40	44	48	32	36	40	44	48
h_2, мм	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6

Практическая работа №10

Тема: Определение коэффициента запаса прочности при изгибе

Цель работы: изучить теорию, научиться производить расчеты на прочность при изгибе.

Ход работы:

1. Изучить теорию.
2. Решить задачи.
3. Оформить работу.
4. Написать вывод.

Краткая теория.

Расчеты на прочность при изгибе

Условие на прочность при изгибе заключается в том, что максимальное нормальное напряжение в опасном сечении не должно превышать допускаемое.

Полагая, что гипотеза о не надавливании волокон справедлива не только при чистом, но и при поперечном изгибе, мы можем нормальные напряжения при поперечном изгибе определять по такой же формуле, что и при чистом изгибе, при этом расчетная формула выглядит так:

$\sigma_{max} = Mu_{max} / W \le [\sigma]$

и читается так: *нормальное напряжение в опасном сечении, определенное по формуле* $\sigma_{max} = Mu_{max} / W \le [\sigma]$ *не должно превышать допускаемое.*

Допускаемое нормальное напряжение при изгибе выбирают таким же, как при растяжении и сжатии.

Максимальный изгибающий момент определяют по эпюре изгибающих моментов или расчетом.

Так как момент сопротивления изгибу W в расчетной формуле стоит в знаменателе, то чем больше W, тем меньшие напряжения возникают в сечении бруса.

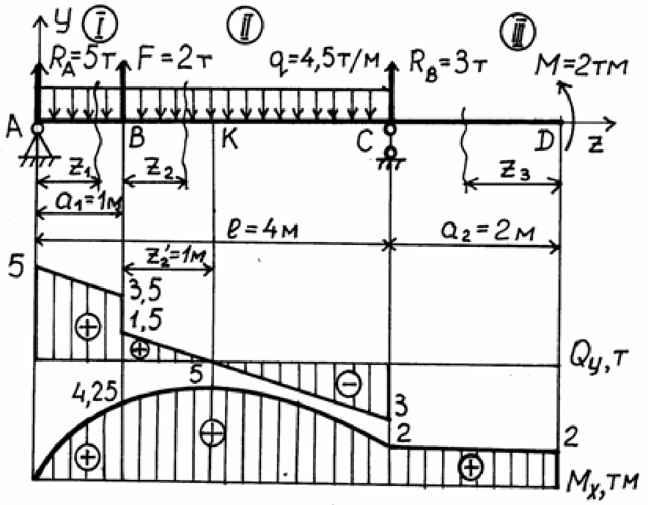
Ниже приведены моменты сопротивления изгибу для наиболее часто встречающихся сечений:

1. ***Прямоугольное сечение*** размером $b \times h$: $W_{пр} = bh^2 / 6$.
2. ***Круглое сечение*** диаметром d: $W_{круг} = \pi d^3 / 32 \approx 0{,}1d^3$
3. ***Кольцо*** размером $D \times d$: $W_{кольца} = \approx 0{,}1 (D^4 - d^4) / D$; *(момент сопротивления кольцевого сечения нельзя определять, как разность моментов сопротивления большого и малого кругов)*.

Пример:

Для заданной расчетной схемы двухопорной балки (см. рис.) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов и подобрать стальную балку двутаврового поперечного сечения, если P=

20 кн =2 т, M =20 кНм =2 тм, q=1,5 кН/м =1,5 т/м, a_1= 1 м, a_2= 2 м, l = 4 м, $[\sigma]$=160 МПа =1600 кг/см^2.



Решение.

1. Вычерчиваем балку в масштабе, наносим все нагрузки и размеры и определяем опорные реакции R_A и R_C , используя уравнение статического равновесия:

$\sum m_C = 0$; $-R_A \cdot l + ql\frac{l}{2} + P(l - a_1) + M = 0$;

$$R_A = \frac{q\frac{l^2}{2} + P(l-a_1) + M}{l} = \frac{1,5\frac{4^2}{2} + 2(4-1) + 2}{4} = 5\,т.$$

$\sum m_A = 0$; $R_C l - Pa_1 - ql\frac{l}{2} + M = 0$;

$$R_C = \frac{Pa_1 + q\frac{l^2}{2} - M}{l} = \frac{2\cdot 1 + 1,5\frac{4^2}{2} - 2}{4} = 3\,т.$$

Проверка: $\sum y = 0$;

$R_A - ql - P + R_C = 0$;

5 - 1,5·4 - 2 + 3 = 0

Наносим вычисленные значения реакций R_A и R_C на расчетную схему.

2. Запишем для каждого участка I, II, III балки уравнения для Q_y и M_x и, выбрав масштаб, построим их эпюры. Для этого применим метод сечений. На каждом участке проводим произвольные сечения и выбираем начало координат: для участка I – в точке A, для участка II – в точке B, для участка III – в точке D. Произвольные сечения каждого участка связываем с выбранным началом отсчета координат Z_1, Z_2 и Z_3. Тогда для каждого участка получим:

Участок I ($0 \le Z_1 \le a_1 = 1м$).

$Q_y = R_A - qZ_1$;

$M_x = R_A Z_1 - qZ_1\frac{Z_1}{2}$.

При составлении уравнения для M_x считаем, что равнодействующая (qZ_1) от равномерно распределенной нагрузки q приложена посередине рассматриваемого участка длиной Z_1, и тогда плечо ее равно $Z_1/2$.

При $Z_1 = 0$; $Q_y = 5$ т, $M_x = 0$.

При $Z_1 = 1$ м; $Q_y = 5 – 1,5\cdot 1 = 3,5$ т, $M_x = 5\cdot 1 – 5\cdot 1^2/2 = 4,25$ тм.

Участок II ($0 \le Z_1 \le (l - a_1) = 3м$).

$Q_y = R_A - qa_1 - P - qZ_2$;

$M_x = R_A(a_1 + Z_2) - qa_1\left(\frac{a_1}{2} + Z_2\right) - PZ_2 - qZ_2\frac{Z_2}{2}$.

При составлении уравнений для Q_y и M_x для участка II видим, что q, приложенная на участке a_1, не зависит от Z_2 (отсчет начинается от точки B).
При $Z_2 = 0$; $Q_y = 5 - 1{,}5\cdot 1 - 2 = 1{,}5$ т, $M_x = 5\cdot 1 - 1{,}5\cdot 1/2 = 4{,}25$ тм.
При $Z_2 = 3$ м; $Q_y = 5 - 1\cdot 2 - 1{,}5\cdot 3 = -3$ тм.
$M_x = 5\cdot(1+3) - 1{,}5\cdot 1(1/2+3) - 2\cdot 3 - 1{,}5\times 3^2/2 = 2$ тм.
Построив эпюру Q_y для этого участка, видим, что она меняет знак с (+) на (-). Исследуем на экстремум:

$$\frac{dM_x}{dZ} = Q = 0; \quad R_A - qa_1 - P - qZ_2^{'};$$

$$Z_2^{'} = \frac{R_A - qa_1 - P}{q} = \frac{5 - 1{,}5\cdot 1 - 2}{1{,}5} = 1 \text{ м.}$$

При $Z_2^{'} = 1$ м, $M_x = 5\cdot(1+1) - 1{,}5\cdot 1(1/2+1) - 2\cdot 1 - 1{,}5\times 1^2/2 = 5$ тм.
Откладываем от точки B $Z_2^{'} = 1$ м, где $Q_y = 0$, на эпюре изгибающих моментов откладываем $M_x = 5$ тм и через полученные три точки проводим параболу – эпюру M_x .
Участок III ($0 \le Z_3 \le a_3 = 2$ м).
$Q_y = 0$; $M_x = M = 2$ тм.
Выбираем масштаб, строим эпюры (см. рис.) и проверяем их правильность.
2. Определяем опасное сечение балки – сечение, в котором изгибающий момент принимает максимальное значение по абсолютной величине, если, как в нашем случае, материл балки пластичный.

Опасное сечение K, где $M_{x_{\max}} = 5$ тм.
Для подбора сечения балки из условия прочности по нормальным напряжениям при изгибе:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x_{\max}}}{W_x} \le [\sigma] \qquad (1)$$

получим формулу проектировочного расчета:

$$W_x \ge \frac{M_{x_{\max}}}{[\sigma]} = \frac{5\cdot 10^5}{1600} = 312{,}5\, см^3.$$

По сортаменту двутавровых балок (ГОСТ 8239-89) подбираем ближайший больший профиль – двутавр № 24а с осевым моментом сопротивления $W_x^{'} = 317$ см^3.
Максимальные рабочие напряжения будут равны, согласно формулы (1),

$$\sigma_{\max}^{'} = \frac{M_{x_{\max}}}{W_x^{'}} = \frac{5\cdot 10^5}{317} = 1577\, кг/см^2 < [\sigma] = 1600\, кг/см^2.$$

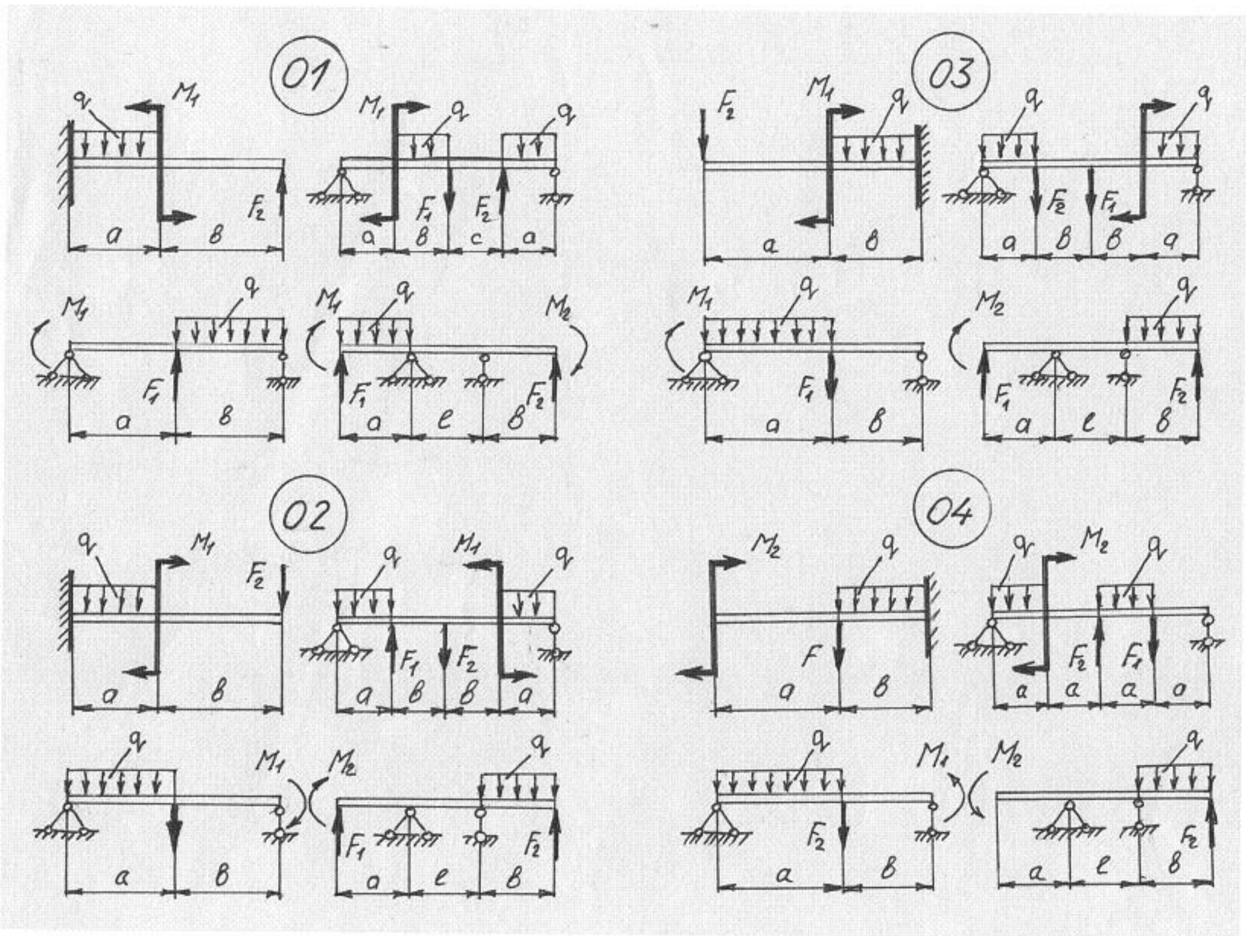
Недонапряжение составит:

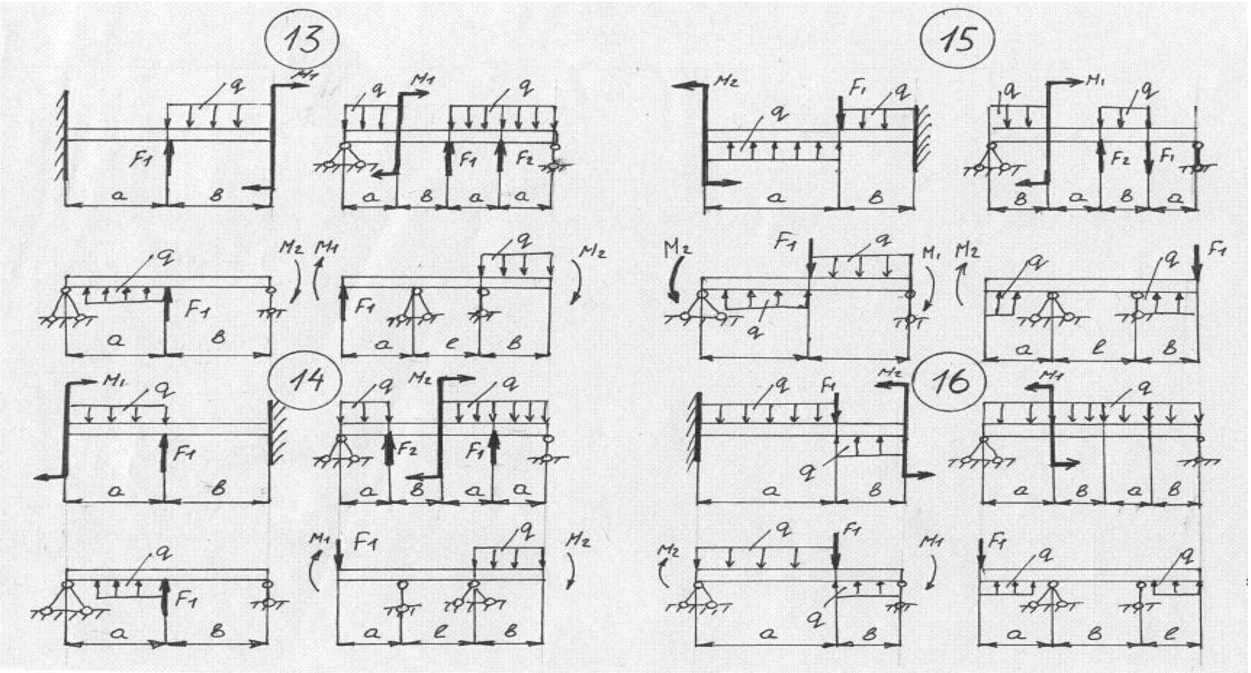
$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_{\max}^{'} - [\sigma]}{[\sigma]}100\% = \frac{1577 - 1600}{1600}100\% = -1{,}44\%.$$

Задача.
Определить из расчета на прочность требуемые размеры поперечного сечения балки при квадратной форме сечения если [σ]=160 Н/мм^2.

Номер варианта	Номер схемы	F_1, кН	F_2, кН	M_1, кН·м	M_2, кН·м	q, кН/м	a, м	b, м
1	1	13	-	7	-	15	2	1.8
2	2	5	10	11	-	7	0.5	0.9
3	3	22	-	-	17	10	1	0.8
4	4	7	12	16	-	20	1.2	1.4
5	5	5	-	-	12	8	1	1
6	6	14	-	15	23	10	0.8	1.2
7	7	30	-	19	28	32	2	2.4
8	8	3	-	-	7	10	0.4	0.6
9	9	15	-	12	-	7	1.4	1.7

10	10	18	22	-	25	32	0.9	1
11	11	20	-	-	13	17	1.3	0.6
12	12	-	-	22	-	26	1.5	1
13	13	21	-	-	-	31	2	1.8
14	14	8	-	14	8	12	1	0.7
15	15	14	-	7	12	10	1.1	0.8
16	16	24	-	-	-	15	1.5	1.2
17	17	-	8	13	-	14	1.2	0.8
18	18	15	20	25	-	30	1	2
19	19	-	13	26	-	20	0.8	1.4
20	20	12	16	22	-	8	1.5	0.5
21	21	15	-	20	-	14	1.2	1.6
22	22	8	12	15	10	4	0.6	1.1
23	23	14	-	17	-	21	2.1	0.8
24	24	7	17	-	18	20	0.8	1.6
25	25	-	20	18	-	14	1.2	1.4
26	26	5	15	12	-	18	1.5	0.6
27	27	18	-	-	25	28	1.6	2.1
28	28	14	24	-	30	21	1.8	2.2
29	29	10	-	12	-	15	0.5	0.8
30	30	8	12	-	16	5	0.9	1.8





Практическая работа №11

Тема: Определение эквивалентного момента на прочности, расчет поперечного сечения образца
Цель: Приобрести навыки при определении прочности сжатого стержня.

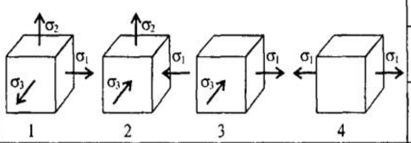
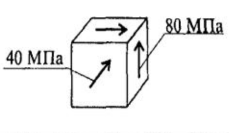
Для выполнения работы необходимо знать:

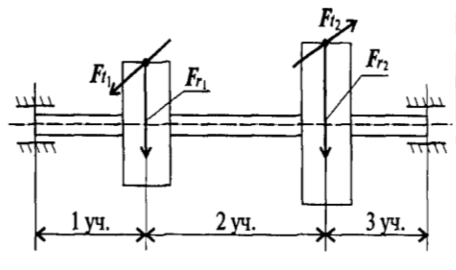
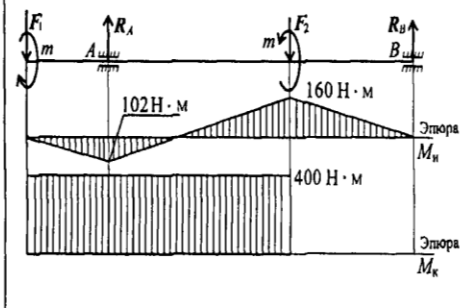
У к а з а н и е. Окружную силу определить по формуле

$$F_t = \frac{2M}{d}, \quad \text{где} \quad M = \frac{P}{\omega}.$$

Пример решения в лекции 35 (Пример 2).
При защите работы ответить на вопросы тестового задания.

Тема 2.7. Сочетание основных деформаций. Гипотезы прочности

Вопросы	Ответы	Код
1. Среди приведенных схем выбрать плоское напряженное состояние. 	1	1
	2	2
	3	3
	4	4
2. Для заданного напряженного состояния вычислить эквивалентное напряжение, используя гипотезу наибольших касательных напряжений. 	120	1
	104	2
	165	3
	200	4
3. Выбрать формулу для расчета эквивалентного момента по гипотезе энергии формоизменения.	$\sqrt{M_x^2 + M_y^2}$	1
	$\sqrt{M_и^2 + M_к^2}$	2
	$\sqrt{M_и^2 + 0,75M_к^2}$	3
	$M_и + M_к$	4

Вопросы	Ответы	Код
		Продолжение
4. На приведенной схеме вала выбрать участок, где действует крутящий момент. 	1 участок	1
	2 участок	2
	3 участок	3
	Такого участка на схеме нет	4
5. По схеме нагружения вала определить необходимый диаметр в опасном сечении. Допускаемое напряжение при изгибе 120 Н/мм^2. Расчет провести по гипотезе максимальных касательных напряжений. 	20,5 мм	1
	25 мм	2
	28,5 мм	3
	32,5 мм	4

Практическая работа №12

Тема: Расчет динамической нагрузки

Цель: Определение параметров движения тела с помощью общих теорем динамики.

Для выполнения работы необходимо знать:

Работа постоянной силы F на прямолинейном участке пути S определяется по формуле $W = F \cdot S$ (направление силы совпадает с направлением перемещения);

Мощность – это работа, совершённая в единицу времени

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot S}{t}, \tag{7.1}$$

откуда часто применяемая для расчёта формула определения мощности

$$P = F \cdot V. \tag{7.2}$$

КПД – это отношение полезной мощности ко всей затраченной

$$\eta = \frac{P_{пол}}{P_{зат}}. \tag{7.3}$$

При решении некоторых задач учитываются силы трения скольжения, при определении которых следует знать, что

$$F_{тр} = f \cdot R_n, \tag{7.4}$$

где R_n –сила нормального давления; f – коэффициент трения (приведенный коэффициент сопротивления движению).

Основными элементами динамики при решении 3-й задачи являются: теорема об изменении количества движения, теорема об изменении кинетической

энергии при поступательном движении тела и теорема об изменении кинетической энергии при вращательном движении твёрдого тела.

Если точка массой m, находясь под действием постоянной силы F в течении t_c, двигается прямолинейно, то теорема об изменении количества движения выражается формулой

$$mV - mV_0 = Ft, \tag{7.5}$$

где mV-mV_0 - величина изменения проекции количества движения на ось, совпадающую с направлением движения;

F t - проекция импульса силы на туже ось.

Если, рассматривая действие силы F на материальную точку массой m , учитывать непродолжительность её действия, а протяжённость, то есть то расстояние, на котором действует сила, то получим теорему об изменении кинетической энергии точки

$$\frac{mV^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = W, \tag{7.6}$$

где

W – работа всех сил, приложенных к точке;

$\frac{mV_0^2}{2}$ и $\frac{mV^2}{2}$ – кинетическая энергия точки в начале и конце действия сил.

Изменение кинетической энергии при вращательном движении тела также равно работе, но при вращении. Здесь работа производится не силой, а моментом силы при повороте твёрдого тела на некоторый угол ϕ , т.е. $W = M_{вр} \cdot \varphi$ и тогда закон изменения кинетической энергии твёрдого тела при вращении

$$M_{вр} \cdot \varphi = \frac{I_z \cdot \omega^2}{2} - \frac{I_z \cdot \omega_0^2}{2}, \tag{7.7}$$

где

I_z — момент инерции твёрдого тела относительно оси Z;

ω_0 ,ω— угловые скорости соответственно в начале и конце вращения.

При решении задач рекомендуется такая последовательность:

1 Выделить точку, движение которой рассматривается в данной задаче.
2 Выяснить, какие активные силы действуют на точку, и изобразить их на рисунке.
3 Освободить точку от связей, заменив их реакциями.
4 Выбрать расположение осей координат и, применив необходимый закон или
5 теорему, решить задачу.

Пример решения задачи.

Для остановки поезда, движущегося по прямолинейному участку пути со скоростью V=10м/с, производится торможение. Через сколько секунд остановится поезд, если при торможении развивается постоянная сила сопротивления, равная 0,02 силы тяжести поезда? Какой путь поезд пройдёт до остановки?

Решение:

Поезд совершает поступательное движение. Рассматривая его как материальную точку М (рис.7.1), движущуюся в направлении оси O_x ,укажем действующие силы: G – сила тяжести поезда, R_n – нормальная реакция рельсов, $F_т$ – сила сопротивления, направленная противоположно вектору скорости. Силы G и R_n уравновешиваются согласно аксиоме действия и противодействия.

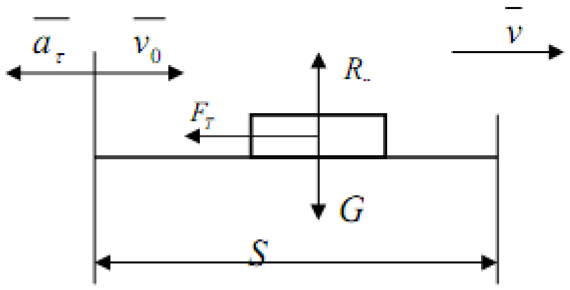


Рисунок 7.1 – Расчетная схема

По теореме об изменении количества движения материальной точки в проекции на ось O_x

$$mV - mV_0 = -F\cdot\Delta t$$

Так как $F = 0{,}02G = 0{,}02mg, t_0 = 0, V_0 = 10 м/с, V = 0$, получим

$$-mV_0 = -0{,}02mg\Delta t .$$

Откуда

$$\Delta t = \frac{V_0}{0{,}02g} = \frac{10}{0{,}02\cdot 9{,}81} = 51с .$$

Для определения пройденного пути поездом до его остановки воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии:

$$\frac{mV^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = F\cdot S\cdot \cos\alpha$$

Работа сил торможения отрицательна ($\angle\alpha = \widehat{FV} = 180^0$, $\cos\alpha = -1$), поэтому

$$-\frac{mV_0^2}{2} = -0{,}02mgS$$

и путь, пройденный поездом:

$$S = \frac{V_0^2}{2\cdot 0{,}02g} = \frac{10^2}{2\cdot 0{,}02\cdot 9{,}81} = 225м .$$

Ответ: S=225 м.

Вопросы

1Как определяется работа постоянной силы на прямолинейном пути?

2Что называется мощностью и каковы её единицы измерения?

3Если на тело действуют несколько сил, то каким образом можно найти их

4общую работу?

5Чему равна работа силы тяжести? Зависит ли она от вида траектории?

6Что называется вращающим моментом? Механическим КПД?

7Как выражается зависимость между вращающим моментом и угловой скоростью при заданной мощности?

8Как определяется кинетическая энергия тела при вращательном движении?

9Каковы единицы измерения кинетической энергии?

10 Для чего введено это понятие коэффициента полезного действия?

Индивидуальные задания для выполнения практической работы №7 приведены в таблице 7.1. Работа состоит из 2-х задач.

Таблица 7.1 – Расчетные данные

№ варианта	Задача		Контрольный вопрос		
1	1	10	1	11	4
2	2	11	2	12	5
3	3	12	3	13	6
4	4	13	4	14	11
5	5	14	5	15	12
6	6	15	6	1	13
7	7	16	7	2	14
8	8	17	8	3	15
9	9	18	9	4	16
10	10	19	10	5	8
11	11	20	11	6	9
12	12	21	12	7	10
13	13	22	13	8	1
14	14	23	14	9	2
15	15	1	15	10	3
16	16	2	16	11	4
17	17	3	1	12	5
18	18	4	2	13	6
19	19	5	3	14	7
20	20	6	4	15	8
21	21	7	5	16	9
22	22	8	6	1	10
23	23	9	7	2	11
24	1	16	8	3	12
25	2	17	9	4	13
26	3	18	10	5	14
27	4	19	11	6	15
28	5	20	12	7	16
29	6	21	13	8	1
30	7	22	14	9	2
31	8	23	15	10	3
32	9	24	16	11	4

Задачи

1. Для подъёма 5000 м3 воды на высоту 3 м поставлен насос с двигателем мощностью 2 кВт. Сколько времени потребуется для перекачки воды, если КПД насоса равен 0,8?

2. Транспортёр поднимает груз массой 200 кг за время, равное одной секунде. Длина ленты транспортёра 3 м, а угол наклона $\alpha=30^0$. КПД транспортёра составляет 85%. Определить мощность, развиваемую электродвигателем транспортёра.

3. Точильный камень диаметром d = 0,5 м делает 120 об/мин. Обрабатываемая деталь прижимается к камню с силой F=10 Н. Какая мощность затрачивается на шлифовку, если коэффициент трения камня о деталь f = 0,2.

4. Определить работу силы трения скольжения при торможении вращающегося диска диаметром d= 200 мм, сделавшего до остановки два оборота, если тормозная колодка прижимается к диску с силой F=400Н. Коэффициент трения скольжения тормозной колодки по диску f = 0,35.

5. Скорость самолёта при отрыве от взлётной полосы должна быть 360 км/ч. Определить минимальную длину взлётной полосы, необходимую для того, чтобы лётчик при разгоне испытывал перегрузку, не превышающую его утроенный вес. Движение считать равноускоренным.

6. Вертолёт, масса которого с грузом 6 т, за 2,5 мин. набрал высоту 2250 м. Определить мощность двигателя вертолёта.

7. Транспортёр поднимает груз массой 200 кг за время, равное одной секунде.

8. Длина ленты транспортёра 3 м, а угол наклона $\alpha=30^0$. КПД транспортёра составляет 85%. Определить мощность, развиваемую электродвигателем транспортёра.

9. Поезд идет со скоростью 36 км/ч. Мощность тепловоза 300 кВт. Сила трения составляет 0,005 веса поезда. Определить вес всего состава.

10. Для подъёма 5000 м3 воды на высоту 3 м поставлен насос с двигателем мощностью 2 кВт. Сколько времени потребуется для перекачки воды, если КПД насоса равен 0,8?

11. Динамометр, установленный между теплоходом и баржей, показывает силу тяги 30 кН, скорость буксировки 18 км/ч, мощность двигателя 550 кВт. Определить силу сопротивления воды корпусу буксира, если КПД силовой установки и винта равен 0,4.

12. Транспортёр поднимает груз массой 200 кг на автомашину за время t=1 с. Длина ленты транспортёра 3 м, а угол наклона $\alpha=30^0$. Коэффициент полезного действия транспортёра η=85%. Определить мощность, развиваемую его электродвигателем.

13. Транспортёр поднимает груз массой 200 кг на автомашину за время t=1 с. Длина ленты транспортёра 3 м, а угол наклона $\alpha=30^0$. Коэффициент полезного действия транспортёра η=85%. Определить мощность, развиваемую его электродвигателем.

14. Точильный камень диаметром d = 0,5 м делает 120 об/мин. Обрабатываемая деталь прижимается к камню с силой F=10 Н. Какая мощность затрачивается на шлифовку, если коэффициент трения камня о деталь f = 0,2.

15. Определить работу силы трения скольжения при торможении вращающегося диска диаметром d= 200 мм, сделавшего до остановки два оборота, если тормозная колодка прижимается к диску с силой F= 400Н. Коэффициент трения скольжения тормозной колодки по диску f = 0,35.

16. Колесо зубчатой передачи, передающей мощность P=12кВт, вращается с угловой скоростью ω=20 рад/с. Определить окружную силу, действующую на зуб колеса, если диаметр колеса d=360 мм.

17. Маховик вращается вместе с горизонтальным валом, цапфы (участки, опирающиеся на подшипники) которого имеют диаметр d=100мм. Нагрузка на каждый из двух подшипников F=4 кН. Приведенный коэффициент трения скольжения в подшипниках f=0,05. Определить работу, затрачиваемую на преодоление трения за два оборота маховика.

18. Начав двигаться из состояния покоя, автомобиль развил скорость 40км/ч за время 7 с. Определить величину силы тяги, считая её постоянной, если сила сопротивления движению составляет 0,1 от веса автомобиля, а масса автомобиля 1200 кг.

19. Автомобиль двигался вниз по уклону с углом $\alpha=15^o$, осуществил экстренное торможение, и пройдя путь 55 м остановился. Сила сопротивления движению составляет 0,5 от веса автомобиля. Определить, с какой скоростью двигался автомобиль в начале торможения.

20. Автомобиль двигался вниз по уклону с углом $\alpha=15^o$, осуществил экстренное торможение, и пройдя путь 90 м остановился. Сила сопротивления движению составляет 0,5 от веса автомобиля. Определить, с какой скоростью двигался автомобиль в начале торможения.

21. При резком торможении колёса автомобиля заклинились и он через 6 с остановился. С какой скоростью двигался автомобиль в начале торможения, если коэффициент трения между поверхностью дороги м колесами автомобиля f=0,6? Поверхность горизонтальная.

22. Тягач развивал мощность 120 кВт, тянет сани вверх по уклону, угол которого 10^oсо скоростью v=10 км/ч, масса саней с грузом m=16 т. Определить коэффициент трения между санями и полотном дороги. Какую работу совершает тягач на одном километре пути?

23. Автомобиль двигался вниз по уклону, угол которого $\alpha=10^o$, со скоростью 75 км/ч. Водитель начинает экстренно тормозить, отключив двигатель. Определить время движения автомобиля до полной остановки и его тормозной путь, если коэффициент трения заторможенных колес о дорогу 0,3.

Литература

Основные источники: Опарин И.С. Основы технической механика: учебник / И.С.Опарин. - Москва: Издательский центр «Академия», 2021. — 144 с. — (Среднее профессиональное образование). Вереин Л.И. Техническая механика: учебник / Л.И.Вереин, М.М.Краснов - Москва: Издательский центр «Академия», 2022. — 353с. — (Среднее профессиональное образование).

Дополнительные источники

ISBN 978-5-16-012916-7.-Текст: электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2083155, https://k-a-t.ru/detali_mashin/1-dm/index.shtml