

Департамент образования Вологодской области
БПОУ ВО «Череповецкий строительный колледж имени А.А. Лепехина»

А.В.Кузнецова

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
для выполнения
практических и контрольных работ**

по дисциплине
«Техническая механика»

для студентов специальности **08.02.03 Производство
неметаллических строительных изделий и конструкций**

Череповец
2017

Рассмотрено на заседании методической комиссии
Протокол № __ от 30.08.2017 г.
Председатель МК/ _____ /Федотова С.В.

Рецензенты: _____

Разработала: преподаватель технической механики Кузнецова А.В.

Методическое пособие предназначено для проведения практических работ студентов специальности **08.02.03 Производство неметаллических строительных изделий и конструкций** для очного и заочного обучения.

Пособие включает в себя 8 практических работ, 4 расчетно-графических работ и 3 контрольные работы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение		4
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА		
Практическая работа № 1	Плоская система сходящихся сил	6
Расчетно-графическая работа №1	Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил аналитическим и геометрическим способами	10
Практическая работа № 2	Кинематика точки. Простейшие движения твердого тела	11
Расчетно-графическая работа №2	Определение параметров вращательного движения.	22
Практическая работа № 3	Работа и мощность. Общие теоремы динамики.	25
Расчетно-графическая работа №3	Работа и мощность. Общие законы динамики.	27
Практическая работа № 4	Центр тяжести.	29
Расчетно-графическая работа №4	Определение центра тяжести фигур	32
Контрольная работа №1	Теоретическая механика	34
ДЕТАЛИ МАШИН		
Практическая работа № 5	Расчет подшипника качения	36
Практическая работа № 6	Чтение сборочных чертежей	39
Практическая работа № 7	Расчет соединения на срез и смятие	42
Контрольная работа №2	Детали машин. Соединение деталей	47
Практическая работа № 8	Чтение кинематических схем. Расчет передаточного отношения.	49
Контрольная работа №3	Механические передачи	60
Список рекомендуемой литературы		61

Введение

Данное методическое пособие предназначено для организации практических работ студентов БПОУ ВО «Череповецкий строительный колледж имени А.А. Лепехина» по специальности **08.02.05 Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и аэродромов**, разработано в соответствии с рабочей программой дисциплины «ОП.02 Техническая механика».

Данное методическое пособие служит целям и задачам дисциплины «ОП.02 Техническая механика».

Студенты, выполняя практические работы, реализуют следующие цели:

- обобщить, систематизировать, закрепить полученные теоретические знания по конкретным темам дисциплины;
- формировать умения применять полученные знания на практике, реализуя единство интеллектуальной и практической деятельности;
- развивать аналитические, логические навыки и умения у будущих специалистов;
- вырабатывать при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Учебная дисциплина «Техническая механика» базируется на знаниях и умениях, полученных при изучении физики и математики, является базовой для дисциплин профессионального цикла.

Структура дисциплины «Техническая механика» представлена следующими разделами:

- теоретическая механика;
- детали машин.

Критерии оценки практических и контрольных работ:

Отметка «5» ставится, если:

- работа выполнена полностью;
- в логических рассуждениях и обосновании решения нет пробелов и ошибок;
- в решении нет математических ошибок (возможна одна неточность, описка, не являющаяся следствием незнания или непонимания учебного материала).

Отметка «4» ставится, если:

- работа выполнена полностью, но обоснования шагов решения недостаточны (если умение обосновывать рассуждения не являлось специальным объектом проверки);
- допущена одна ошибка или два-три недочета в выкладках, рисунках, чертежах или графиках (если эти виды работы не являлись специальным объектом проверки).
- **Отметка «3»** ставится, если:
допущены более одной ошибки или более двух-трех недочетов в выкладках, чертежах или графиках, но учащийся владеет обязательными умениями по проверяемой теме.
- **Отметка «2»** ставится, если:
допущены существенные ошибки, показавшие, что учащийся не владеет обязательными умениями по данной теме в полной мере
- **Отметка «1»** ставится, если:
работа показала полное отсутствие у учащегося обязательных знаний и умений по проверяемой теме или значительная часть работы выполнена не самостоятельно.

Основные положения методики решения задач

1. Записать условия задачи, составить расчетную схему (если это необходимо) и проанализировать физическую сущность задачи.
2. После того, как задача в общих чертах решена, перейти к её последовательному математическому решению:
 - вести решение по пунктам, указывая, что именно в данном пункте определяется;
 - каждый пункт должен содержать расчетную формулу, записанную в общем виде;
 - после вывода окончательной формулы необходимо перейти к численному решению;
 - перед подстановкой числовых данных необходимо все исходные величины привести к единым согласованным единицам измерения.
3. Анализ результата решения заключается в следующем:
 - попытке оценить правильность решения по правдоподобию числового результата;
 - в разборе возможных методов контроля решения;
 - в анализе решения с точки зрения подтверждения определенных теоретических положений и технических приложений и практических выводов;
 - в необходимости приведения результата к ГОСТам.

СТАТИКА

Практическая работа №1.

Тема: Плоская система сходящихся сил

Цель работы:

- Знать способы сложения двух сил и разложение силы на составляющие, геометрический и аналитический способы определения равнодействующей силы, условия равновесия плоской сходящейся системы сил.
- Уметь определять равнодействующую системы сил, решать задачи на равновесие геометрическим и аналитическим способом, рационально выбирая координатные оси.

Время выполнения – 2 часа.

Расчетные формулы

Равнодействующая системы сил

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}; \quad F_{\Sigma x} = \sum_0^n F_{kx}; \quad F_{\Sigma y} = \sum_0^n F_{ky},$$

где $F_{\Sigma x}$, $F_{\Sigma y}$ — проекции равнодействующей на оси координат; F_{kx} , F_{ky} — проекции векторов-сил системы на оси координат.

$$\cos \alpha_{\Sigma x} = \frac{F_{\Sigma x}}{F_{\Sigma}},$$

где — угол равнодействующей с осью Ox .

Условие равновесия

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_0^n F_{kx} = 0; \\ \sum_0^n F_{ky} = 0. \end{array} \right.$$

Если плоская система сходящихся сил находится в равновесии, многоугольник сил должен быть замкнут.

Пример 1. Определение равнодействующей системы сил.

Определить равнодействующую плоской системы сходящихся сил аналитическим и геометрическим способами (рис. П1.1). Дано:

$$F_1 = 10 \text{ кН}; F_2 = 15 \text{ кН}; F_3 = 12 \text{ кН}; F_4 = 8 \text{ кН}; F_5 = 8 \text{ кН}; \\ \alpha_1 = 30^\circ; \alpha_2 = 60^\circ; \alpha_3 = 120^\circ; \alpha_4 = 180^\circ; \alpha_5 = 300^\circ.$$

Решение:

1. Определить равнодействующую аналитическим способом (рис. П1.1а).

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1x} = 10 \cdot \cos 30^\circ = 8,66 \text{ кН}; \\ F_{2x} = 15 \cdot \cos 60^\circ = 7,5 \text{ кН}; \\ F_{3x} = -12 \cdot \cos 60^\circ = -6 \text{ кН}; \\ F_{4x} = -8 \text{ кН}; \\ F_{5x} = 8 \cdot \cos 60^\circ = 4 \text{ кН}; \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} F_{\Sigma x} = \sum F_{kx}; \\ F_{\Sigma x} = 6,16 \text{ кН}. \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1y} = 10 \cdot \cos 60^\circ = 5 \text{ кН}; \\ F_{2y} = 15 \cdot \cos 30^\circ = 12,99 \text{ кН}; \\ F_{3y} = 12 \cdot \cos 30^\circ = 10,4 \text{ кН}; \\ F_{4y} = 0; \\ F_{5y} = -8 \cdot \cos 30^\circ = -6,9 \text{ кН}; \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} F_{\Sigma y} = \sum F_{ky}; \\ F_{\Sigma y} = 21,49 \text{ кН}. \end{array}$$

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}; \quad F_{\Sigma} = \sqrt{6,16^2 + 21,49^2} = 22,36 \text{ кН};$$

$$\cos \alpha_{\Sigma x} = \frac{F_{\Sigma x}}{F_{\Sigma}}; \quad \cos \alpha_{\Sigma x} = \frac{6,16}{22,36} = 0,2755; \quad \alpha_{\Sigma x} = 74^\circ.$$

2. Определить равнодействующую графическим способом.

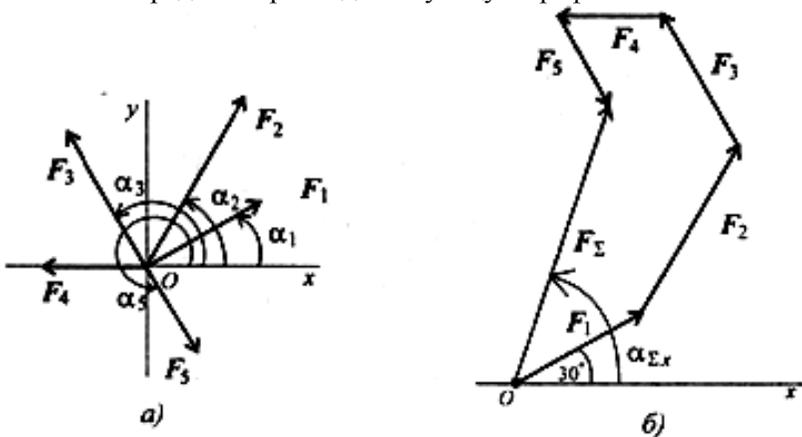


Рис. П1.1

С помощью транспортира в масштабе $2 \text{ мм} = 1 \text{ кН}$ строим многоугольник сил (рис. П1.1б). Измерением определяем модуль равнодействующей силы и угол наклона ее к оси Ox .

$$F_{\Sigma \text{гр}} \cong 22 \text{ кН}; \quad \alpha_{\Sigma x} = 73^\circ.$$

Результаты расчетов не должны отличаться более чем на 5%:

$$\frac{F_{\Sigma \text{ан}} - F_{\Sigma \text{гр}}}{F_{\Sigma \text{ан}}} \cdot 100\% \leq 5\%.$$

Пример 2. Грузы подвешены на стержнях и канатах и находятся в равновесии. Определить реакции стержней АВ и СВ (рис. П1.2).

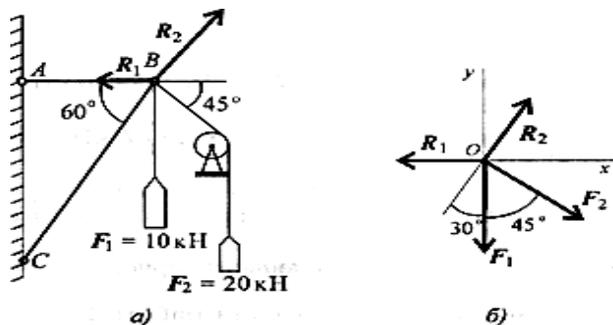


Рис. П1.2

Решение:

1. Определяем вероятные направления реакций (рис. П1.2а). Мысленно убираем стержень АВ, при этом стержень СВ опускается, следовательно, точка В отодвигается от стены: назначение стержня АВ — тянуть точку В к стене.

Если убрать стержень СВ, точка В опустится, следовательно, стержень СВ поддерживает точку В снизу — реакция направлена вверх.

2. Освобождаем точку В от связи (рис. П1.2б).

3. Выберем направление осей координат, ось Ох совпадает с реакцией R_1 .

4. Запишем уравнения равновесия точки В:

$$\sum_0^n F_{kx} = -R_1 + R_2 \cos 60^\circ + F_2 \cos 45^\circ = 0;$$

$$\sum_0^n F_{ky} = R_2 \cos 30^\circ - F_1 - F_2 \cos 45^\circ = 0.$$

5. Из второго уравнения получаем:

$$R_2 = \frac{F_1 + F_2 \cos 45^\circ}{\cos 30^\circ}; \quad R_2 = \frac{10 + 20 \cdot 0,7}{0,866} = 27,87 \text{ кН.}$$

Из первого уравнения получаем:

$$R_1 = R_2 \cos 60^\circ + F_2 \cos 45^\circ; \quad R_1 = 28,07 \text{ кН.}$$

Вывод: стержень АВ растянут силой 28,07 кН, стержень СВ сжат силой 27,87 кН.

Примечание. Если при решении реакция связи окажется отрицательной, значит, вектор силы направлен в противоположную сторону.

В данном случае реакции направлены верно.

Расчетно-графическая работа №1.

Тема: Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил аналитическим и геометрическим способами

Время выполнения – 2 часа.

Задание 1. Используя схему рис. П1.1а, определить равнодействующую системы сил геометрическим способом:

Параметр	Вариант				
	1	2	3	4	5
F_1 , кН	12	8	20	3	6
F_2 , кН	8	12	5	6	12
F_3 , кН	6	2	10	12	15
F_4 , кН	4	10	15	15	3
F_5 , кН	10	6	10	9	18
α_1 , град	30	0	0	15	0
α_2 , град	45	45	60	45	15
α_3 , град	0	75	75	60	45
α_4 , град	60	30	150	120	150
α_5 , град	300	270	210	270	300

Задание 2. Определить реакции стержней AC и AD (рис. П1.3) в аналитической форме:

Параметр	Вариант				
	1	2	3	4	5
G , кН	40	35	48	60	75
α , град	60	45	75	60	45
β , град	15	30	30	15	45
γ , град	60	45	60	75	75

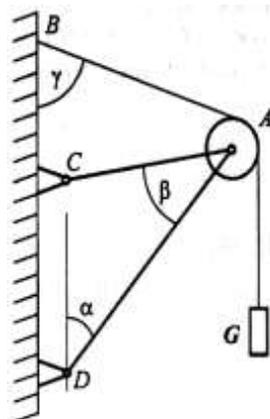


Рис. П1.3

КИНЕМАТИКА

Практическая работа №2.

Тема: Кинематика точки. Простейшие движения твердого тела

Цели:

- Знать формулы для определения параметров поступательного и вращательного движений и кинематические графики.
- Уметь определять кинематические параметры тела при поступательном и вращательном движениях, определять параметры любой точки тела.

Время выполнения – 4 часа.

Расчетные формулы для определения параметров поступательного движения тела

Все точки тела движутся одинаково. Закон равномерного движения:

$$S = S_0 + vt.$$

Закон равнопеременного движения:

$$S = S_0 + v_0t + \frac{a_t t^2}{2}.$$

Здесь S_0 — путь, пройденный до начала отсчета, м;

v_0 — начальная скорость движения, м/с;

a_t — постоянное касательное ускорение, м/с²

Скорость:

$$v = S'; \quad v = v_0 + a_t t.$$

Ускорение:

$$a_t = v'.$$

Закон неравномерного движения:

$$S = f(t^3).$$

Кинематические графики поступательного движения представлены на рис. П4.1.

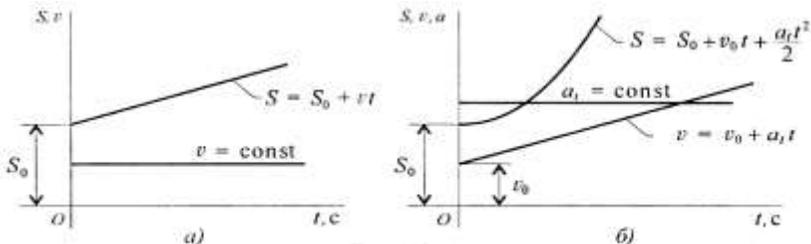


Рис. П4.1

Расчетные формулы для определения параметров вращательного движения

Точки тела движутся по окружностям вокруг неподвижной оси (оси вращения).

Закон равномерного вращательного движения:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t.$$

Закон равнопеременного вращательного движения:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}.$$

Закон неравномерного вращательного движения:

$$\varphi = f(t^3).$$

Здесь φ — угол поворота тела за время t , рад;

ω — угловая скорость, рад/с;

φ_0 — угол поворота, на который развернулось тело до начала отсчета;

ω_0 — начальная угловая скорость;

ε — угловое ускорение, рад/с²;

Угловая скорость:

$$\omega = \varphi'; \quad \omega = \omega_0 + \varepsilon t;$$

Угловое ускорение:

$$\varepsilon = \omega'.$$

Кинематические графики вращательного движения представлены на рис. П4.2.

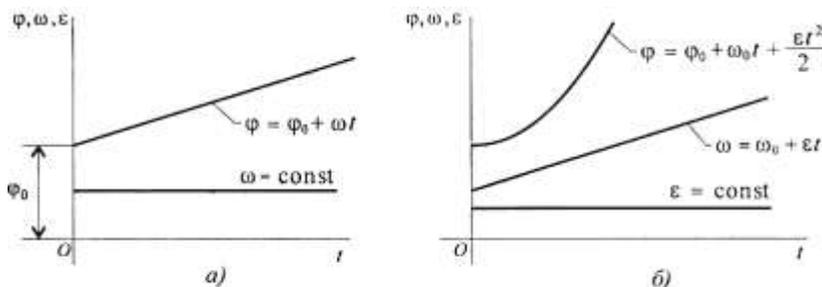


Рис. П4.2

Число оборотов вращения тела:

$$z = \varphi / (2\pi).$$

Угловая частота вращения: n , об/мин.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}.$$

Параметры движения точки вращающегося тела (рис. П4.3):

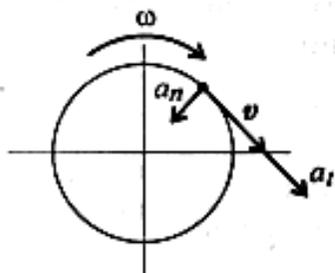


Рис. П4.3

v — линейная скорость точки A:

$$v = \omega r, \text{ м/с};$$

a_t — касательное ускорение точки A:

$$a_t = \varepsilon r, \text{ м/с}^2;$$

a_n — нормальное ускорение точки

A:

$$a_n = \omega^2 r, \text{ м/с}^2.$$

Пример 1. По заданному закону движения $S = 10 + 20t - 5t^2$ ($[S] = \text{м}; [t] = \text{с}$) определить вид движения, начальную скорость и касательное ускорение точки, время до остановки.

(Рекомендуется обойтись без расчетов, использовать метод сравнения заданного уравнения с уравнениями различных видов движений в общем виде.)

Решение:

1. Вид движения: равнопеременное

$$(S = S_0 + v_0 t + \frac{a_t t^2}{2}).$$

2. При сравнении уравнений очевидно, что

- начальный путь, пройденный до начала отсчета — 10 м;
- начальная скорость 20 м/с;
- постоянное касательное ускорение $a_t/2 = 5 \text{ м/с}^2$; $a_t = -10 \text{ м/с}^2$.
- ускорение отрицательное, следовательно, движение замедленное (равнозамедленное), ускорение направлено в сторону, противоположную направлению скорости движения.

3. Можно определить время, при котором скорость точки будет равна нулю:

$$v = S' = 20 - 2 \cdot 5t; v = 20 - 10t = 0; t = 20/10 = 2 \text{ с}.$$

Примечание. Если при равнопеременном движении скорость растет, значит, ускорение — положительная величина, график пути — вогнутая парабола. При торможении скорость падает, ускорение (замедление) — отрицательная величина, график пути — выпуклая парабола (рис. 10.4).

Пример 2. Точка движется по желобу из точки A в точку D (рис. 10.5). Как изменятся касательное и нормальное ускорения при прохождении точки через B и C ? Скорость движения считать постоянной. Радиус участка $AB = 10$ м, радиус участка $BC = 5$ м.

Решение:

1. Рассмотрим участок AB . Касательное ускорение равно нулю ($v = \text{const}$). Нормальное ускорение ($a_n = v^2/r$) при переходе через точку B увеличивается в 2 раза, оно меняет направление, т. к. центр дуги AB не совпадает с центром дуги BC .

2. На участке BC :

касательное ускорение равно нулю: $a_t = 0$;

нормальное ускорение при переходе через точку C меняется: до точки C движение вращательное, после точки C движение становится прямолинейным, нормальное напряжение на прямолинейном участке равно нулю.

3. На участке CD полное ускорение равно нулю.

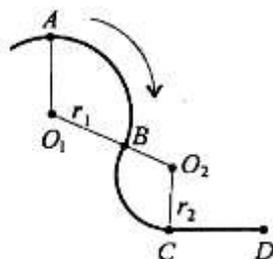


Рис. 10.5

Пример 3. По заданному графику скорости найти путь, пройденный за время движения (рис. 10.6).

Решение

1. По графику следует рассмотреть три участка движения. Первый участок — разгон из состояния покоя (равноускоренное движение).

$$\text{Уравнение скорости } v_1 = v_0 + a_1 t_1; v_0 = 0.$$

$$\text{Ускорение } a_1 = \frac{v_1}{t_1}; a_1 = \frac{8}{5} = 1,6 \text{ м/с}^2.$$

Второй участок — равномерное движение: $v = 8$ м/с; $a_2 = 0$.

Третий участок — торможение до остановки (равнозамедленное движение).

$$\text{Уравнение скорости } v_3 = v_{03} + a_3 t_3; v_3 = 0.$$

$$\text{Ускорение } a_3 = -\frac{v_{03}}{t_3}; a_3 = -\frac{8}{4} = -2 \text{ м/с}^2.$$

1. Путь, пройденный за время движения, будет равен:

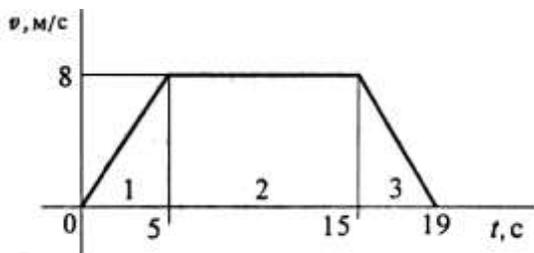


Рис. 10.6

первый участок: $S_1 = S_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$; $S_0 = 0$; $v_0 = 0$;

$$S_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2}; \quad S_1 = \frac{1,6 \cdot 5^2}{2} = 20 \text{ м/с};$$

второй участок: $S_2 = vt_2 = 8 \cdot 10 = 80 \text{ м/с};$

третий участок: $S_3 = S_{03} + v_{03} t_3 + \frac{a_3 t_3^2}{2}$; $S_{03} = S_1 + S_2$;

$v_{03} = 8 \text{ м/с}; \quad a_3 = -2 \text{ м/с}^2.$

Путь за время движения

$$S_{\Sigma} = S_3 = 100 + 8 \cdot 4 + \frac{-2 \cdot 4^2}{2} = 116 \text{ м}.$$

Пример 4. Тело, имевшее начальную скорость 36 км/ч, прошло 50 м до остановки. Считая движение равнозамедленным, определить время торможения.

Решение:

1. Записываем уравнение скорости для равнозамедленного движения:

$$v = v_0 + at = 0.$$

Определяем начальную скорость в м/с: $v_0 = 36 \cdot 1000 / 3600 = 10 \text{ м/с}.$

Выразим ускорение (замедление) из уравнения скорости: $a = -v_0/t$

2. Записываем уравнение пути: $S = v_0 t / 2 + at^2 / 2$. После подстановки получим: $S = v_0 t / 2$

3. Определяем время до полной остановки (время торможения):

$$t = \frac{2S}{v_0} = \frac{2 \cdot 50}{10} = 10 \text{ с}.$$

Пример 5. Точка движется прямолинейно согласно уравнению $s = 20t - 5t^2$ (s — м, t — с). Построить графики расстояний, скорости и ускорения для первых 4 с движения. Определить путь, пройденный точкой за 4 с, и описать движение точки.

Решение

1. Точка движется прямолинейно по уравнению $s = 20t - 5t^2$ следовательно, скорость точки $u = ds/dt = 20 - 10t$ и ускорение $a = a_t = dv/dt = -10 \text{ м/с}^2$.
Значит, движение точки равнопеременное ($a = a_t = -10 \text{ м/с}^2 = \text{const}$) с начальной скоростью $v_0 = 20 \text{ м/с}$.

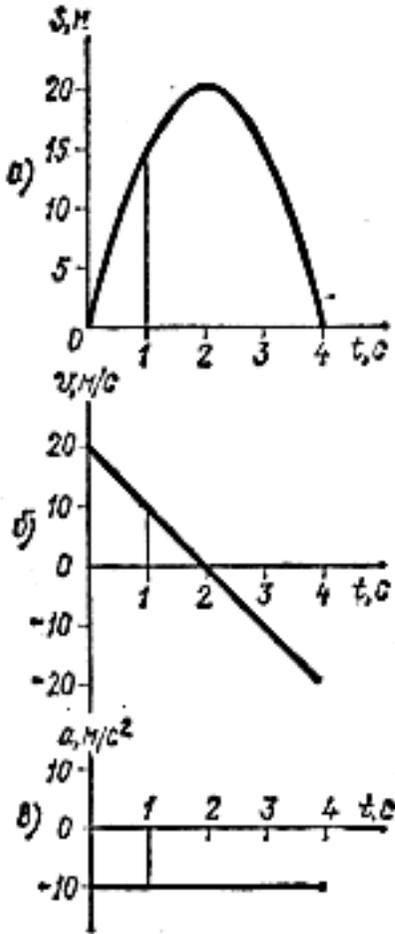
2. Составим зависимость числовых значений s и v для первых 4 с движения

$t, \text{с}$	0	1	2	3	4
$s = 20t - 5t^2, \text{ м}$	0	15	20	15	0
$v = 20 - 10t, \text{ м/с}$	20	10	0	-10	-20
$a = -10 \text{ м/с}^2$	от времени не зависит				

3. По приведенным числовым значениям построим графики расстояний (рис. а), скорости (рис. б) и ускорения (рис. в), выбрав масштабы для изображения по осям ординат расстояний s , скорости v и ускорения a , а также одинаковый для всех графиков масштаб времени по оси абсцисс. Например, если расстояние $s = 5 \text{ м}$ изображать на графике длиной отрезка $l_s = 10 \text{ мм}$, то $5 \text{ м} = \mu_s \cdot 10 \text{ мм}$, где коэффициент пропорциональности μ_s и есть масштаб по оси Os : $\mu_s = 5/10 = 0,5 \text{ м/мм}$ (0,5 м в 1 мм); если модуль скорости $v = 10 \text{ м/с}$ изображать на графике длиной $l_v = 10 \text{ мм}$, то $10 \text{ м/с} = \mu_v$

* 10 мм и масштаб по оси Ov $\mu_v = 1 \text{ м/(с·мм)}$ (1 м/с в 1 мм); если модуль ускорения $a = 10 \text{ м/с}^2$ изображать отрезком $l_a = 10 \text{ мм}$, то, аналогично предыдущему, масштаб по оси Oa $\mu_a = 1 \text{ м/(с}^2\text{·мм)}$ (1 м/с² в 1 мм); и наконец, изображая промежуток времени $\Delta t = 1 \text{ с}$ отрезком $l_t = 10 \text{ мм}$, получим на всех графиках масштаб по осям Ot $\mu_t = 0,1 \text{ с/мм}$ (0,1 с в 1 мм).

4. Из рассмотрения графиков следует, что в течение времени от 0 до 2 с точка движется равнозамедленно (скорость v и ускорение в течение этого промежутка времени имеют разные знаки, значит, их векторы направлены в противоположные стороны); в период времени от 2 до 4 с точка движется



равноускоренно (скорость v и ускорение имеют одинаковые знаки, т. е. их векторы направлены в одну сторону).

За 4 с точка прошла путь $s_{0-4} = 40$ м. Начав движение со скоростью $v_0 = 20$ м/с, точка по прямой прошла 20 м, а затем вернулась в исходное положение, имея ту же скорость, но направленную в противоположную сторону.

Если условно принять ускорение свободного падения $g = 10$ мс⁻² и пренебречь сопротивлением воздуха, то можно сказать, что графики описывают движение точки, брошенной вертикально вверх со скоростью $a_0 = 20$ м/с.

Пример 6. Точка движется по траектории, изображенной на рис. 1.44, а, согласно уравнению $s = 0,2t^4$ (s — в метрах, t — в секундах). Определить скорость и ускорение точки в положениях 1 и 2.

Решение:

Время, необходимое для перемещения точки из положения 0 (начала отсчета) в положение 1, определим из уравнения движения, подставив частные значения расстояния и времени:

$$s_1 = l = 0,2t_1^4, \quad t_1 = \sqrt[4]{l/0,2} = \sqrt[4]{7/0,2}$$

Уравнение изменения скорости

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d(0,2t^4)}{dt} = 0,8t^3.$$

Скорость точки в положении 1

$$v_1 = 0,8t_1^3 = 0,8 \cdot 2,43^3 = 11,5 \text{ м/с.}$$

Уравнение изменения касательного ускорения

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(0,8t^3)}{dt} = 2,4t^2.$$

Касательное ускорение точки в положении 1

$$a_{t1} = 2,4t_1^2 = 2,4 \cdot 2,43^2 = 14,2 \text{ м/с}^2.$$

Нормальное ускорение точки на прямолинейном участке траектории равно нулю. Скорость и ускорение точки в конце этого участка траектории показаны на рис. 1.44, б.

Определим скорость и ускорение точки в начале криволинейного участка траектории. Очевидно, что $v_1 = 11,5$ м/с, $a_{t1} = 14,2$ м/с².

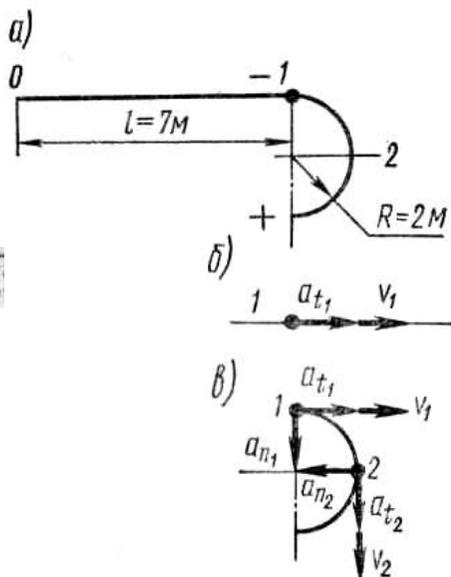


Рис. 1.44

Нормальное ускорение точки в начале криволинейного участка

$$a_{n_1} = v_1^2/R = 11,5^2/2 = 66 \text{ м/с}^2.$$

Скорость и ускорение в начале криволинейного участка показаны на рис.

1.44, *в* (векторы a_{t1} и a_{a1} изображены без соблюдения масштаба).

Положение 2 движущейся точки определяется пройденным путем, состоящим из прямолинейного участка 0 — 1 и дуги окружности 1 — 2, соответствующей центральному углу 90° :

$$s_2 = l + 2\pi R/4 = 7 + 2 \cdot 3,14 \cdot 2/4 \approx 10,1 \text{ м}.$$

Время, необходимое для перемещения точки из положения 0 в положение 2,

$$t_2 = \sqrt[4]{s_2/0,2} = \sqrt[4]{10,1/0,2} \approx 2,66 \text{ с}.$$

Скорость точки в положении 2

$$v_2 = 0,8t_2^3 = 0,8 \cdot 2,66^3 = 15,1 \text{ м/с}.$$

Касательное ускорение точки в положении 2

$$a_{t_2} = 2,4t_2^2 = 2,4 \cdot 2,66^2 = 17 \text{ м/с}^2.$$

Нормальное ускорение точки в положении 2

$$a_{n_2} = v_2^2/R = (15,1)^2/2 = 114 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение точки в положении 2

$$a_2 = \sqrt{a_{t_2}^2 + a_{n_2}^2} = \sqrt{17^2 + 114^2} = 115 \text{ м/с}^2.$$

Скорость и ускорения точки в положении 2 показаны на рис. 1.44, *в*

(векторы a_{t_2} и a_{n_2} изображены без соблюдения масштаба).

Пример 7. Точка движется по заданной траектории (рис. 1.45, *а*) согласно уравнению $s = 5t^3$ (s — в метрах, t — в секундах). Определить ускорение точки и угол α между ускорением и скоростью в момент t_1 , когда скорость точки $v_1 = 135 \text{ м/с}$.

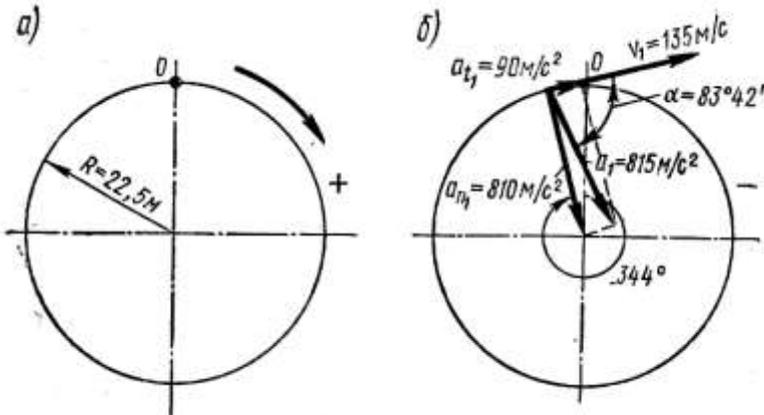


Рис. 1.45

Решение:

Уравнение изменения скорости

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d(5t^2)}{dt} = 10t.$$

Время t_1 определим из уравнения изменения скорости, подставив частные значения скорости и времени:

$$v_1 = 10t_1, \quad t_1 = \sqrt{v_1/10} = \sqrt{135/10} = 3.7 \text{ с.}$$

Определим положение точки на траектории в момент t_1 :

$$s_1 = 5t_1^2 = 5 \cdot 3.7^2 = 69.1 \text{ м.}$$

Дуга окружности длиной 69.1 м соответствует центральному углу

$$\frac{s_1}{R} = \frac{69.1}{22.5} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = 172^\circ.$$

Уравнение изменения касательного ускорения

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(10t)}{dt} = 10.$$

Касательное ускорение точки в момент t_1

$$a_{t1} = 10t_1 = 10 \cdot 3.7 = 37 \text{ м/с}^2.$$

Нормальное ускорение точки в момент t_1

$$a_{n1} = v_1^2/R = 135^2/22.5 = 810 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение точки в момент t_1

$$a_1 = \sqrt{a_{t1}^2 + a_{n1}^2} = \sqrt{37^2 + 810^2} = 815 \text{ м/с}^2.$$

Скорость и ускорение точки в момент времени t_1 показаны на рис. 1.45, б.

Как видно из рис. 1.45, б

$$\operatorname{tg} \alpha = a_n/a_t = 810/37 = 21.9; \quad \alpha = 87^\circ 35'.$$

Пример 8. В шахту глубиной $H = 3000$ м с поверхности земли без начальной скорости брошен предмет. Определить, через сколько секунд звук, возникающий в момент удара предмета о дно шахты, достигнет поверхности земли. Скорость звука 333 м/с.

Решение:

Уравнение движения свободно падающего тела

$$s = gt^2/2.$$

Время, необходимое для перемещения предмета от поверхности земли до дна шахты, определим из уравнения движения:

$$H = gt_1^2/2, \quad t_1 = \sqrt{2H/g} = \sqrt{2 \cdot 3000/9,81} = 24,7 \text{ с.}$$

Звук распространялся с постоянной скоростью 333 м/с. Уравнение распространения звука

$$s = vt.$$

Время достижения звуком поверхности земли

$$t_2 = H/v = 3000/333 = 9 \text{ с.}$$

Тогда время с момента начала движения предмета до момента достижения звуком поверхности земли

$$t = t_1 + t_2 = 24,7 + 9 \approx 34 \text{ с.}$$

Пример 9. По заданным уравнениям движения точки $x = 2t^2$, $y = 2t$ (x и y — в метрах, t — в секундах) найти уравнение траектории, а также скорость и ускорение точки в момент времени $t = 2$ с.

Решение

Для определения траектории точки нужно из уравнений движения исключить параметр t — время.

Выразим t через x из первого уравнения:

$$t = \sqrt{x/2}$$

и подставим это значение во второе уравнение:

$$y = 2\sqrt{x/2}.$$

Траекторией точки является парабола, симметричная относительно оси x . Чтобы найти скорость точки, нужно определить ее составляющие по координатным осям

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 4t, \quad v_y = \frac{dy}{dt} = 2.$$

Находим скорость точки

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(4t)^2 + (2)^2}.$$

При $t = 2$ с получаем

$$v = \sqrt{(4 \cdot 2)^2 + 2^2} = \sqrt{64 + 4} = 8,25 \text{ м/с.}$$

Находим составляющие ускорения точки

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = 4, \quad a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = 0.$$

Ускорение точки

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{4^2 + 0^2} = 4 \text{ м/с}^2.$$

Расчетно-графическая работа №2.

Тема: Определение параметров вращательного движения

Время выполнения – 2 часа.

Рекомендации для решения задач расчетно-графической работы

Задание 1.

1. Определить вид движения на каждом участке по приведенному кинематическому графику.
2. Записать законы движения шкива на каждом участке. Параметры движения в конце каждого участка являются начальными параметрами движения на каждом последующем.
3. Определить полный угол поворота шкива за время вращения. Использовать формулу для перехода от угловой частоты вращения к угловой скорости.
4. Определить полное число оборотов шкива, используя формулу

$$z = \frac{\varphi}{2\pi}.$$

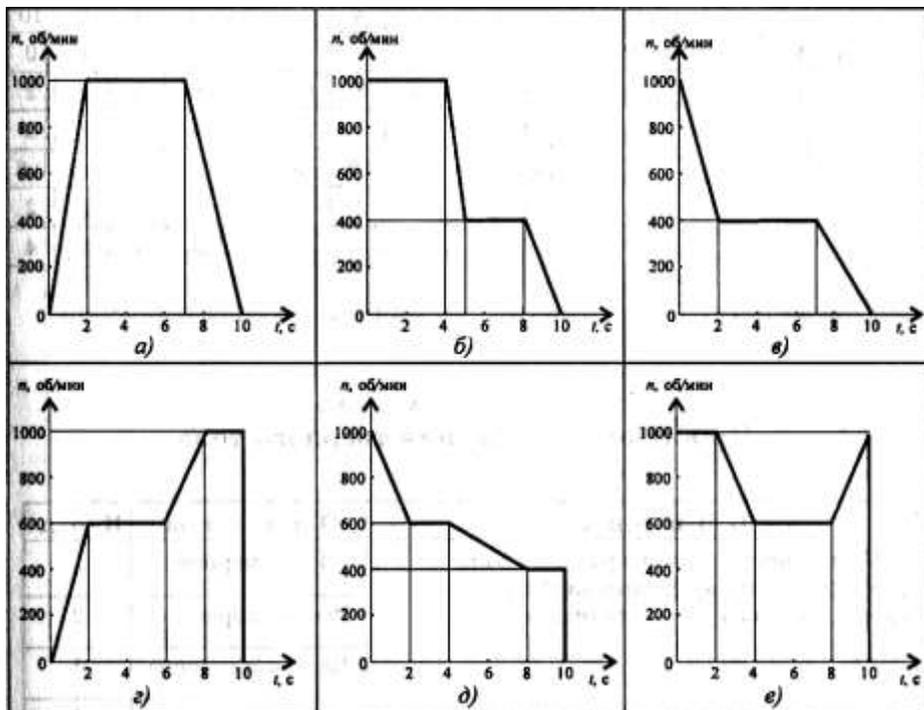
5. Построить графики угловых перемещений и угловых ускорений.
6. Определить нормальное и касательное ускорения точки на ободе шкива в указанные моменты времени.

Задание 2.

1. Подставив заданные коэффициенты в общее уравнение движения, определить вид движения.
2. Определить уравнения скорости и ускорения груза.

Задание 1. Частота вращения шкива диаметром d меняется согласно графику. Определить полное число оборотов шкива за время движения и среднюю угловую скорость за это же время. Построить график угловых перемещений и угловых ускорений шкива. Определить ускорения точек обода колеса в моменты времени t_1 и t_2 .

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр шкива, м	0,2	0,3	0,4	0,6	0,5	0,8	0,2	0,6	0,5	0,8
t_1 , с	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
t_2 , с	8	9	8	9	8	6	9	8	9	6



Задание 2. Движение груза A задано уравнением:

$$y = at^2 + bt + c, \text{ где } [y] = \text{м}, [t] = \text{с}.$$

Определить скорость и ускорение груза в моменты времени t_1 и t_2 , а также скорость и ускорение точки B на ободе барабана лебедки (рис. П4.4).

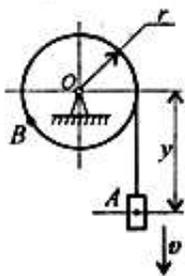


Рис. П4.4

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$a, \text{ м/с}^2$	2	0	3	0	3	3	2	0	4	0
$b, \text{ м/с}$	0	3	4	2	0	4	0	3	4	2
$c, \text{ м}$	3	4	0	5	2	0	4	2	0	3
$r, \text{ м}$	0,2	0,4	0,6	0,8	0,5	0,4	0,3	0,2	0,8	0,6
$t_1, \text{ с}$	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
$t_2, \text{ с}$	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4

ДИНАМИКА

Практическая работа №3.

Тема: Работа и мощность. Общие теоремы динамики

Цели:

- Знать зависимости для определения мощности при поступательном и вращательном движениях. КПД.
- Знать основные уравнения динамики при поступательном и вращательном движениях твердого тела.
- Уметь рассчитывать мощность с учетом потерь на трение и сил инерции.
- Уметь определять параметры движения с помощью теорем динамики.

Время выполнения – 1 час.

Расчетные формулы

Мощность при поступательном движении

$$P = Fv \cos \alpha,$$

где F — постоянная сила, Н; v — скорость движения, м/с; α — угол между направлениями силы и перемещения.

Мощность при вращении

$$P = M\omega,$$

Коэффициент полезного действия

$$\text{КПД} = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{затр}}},$$

где $P_{\text{пол}}$ — полезная мощность, Вт; $P_{\text{затр}}$ — затраченная мощность, Вт.

Сила инерции

$$F_{\text{ин}} = -ma,$$

где a — ускорение точки, м/с²; m — масса, кг.

Основные уравнения динамики

Поступательное движение твердого тела:

$$F = ma.$$

Вращательное движение твердого тела:

$$M_z = J\varepsilon,$$

где M_z — суммарный момент внешних сил относительно оси вращения, Н-м; J — момент инерции относительно оси вращения, кг-м²; ε — угловое ускорение, рад/с².

Пример. График изменения скорости лифта при подъеме известен (рис. 14.6). Масса лифта с грузом 2800 кг. Определить натяжение каната, на котором подвешен лифт на всех участках подъема.

Решение:

1. **Рассмотрим участок 1** — подъем с ускорением. Составим схему сил (рис. 14.7).

Уравнение равновесия кабины лифта:

$$\sum_0^n F_{ky} = 0; \quad T_1 - G - F_{ин1} = 0$$

где T — натяжение каната; G — сила тяжести; $F_{ин}$ — сила инерции, растягивающая канат.

Для определения ускорения на участке 1 учтем, что движение на этом участке равнопеременное, скорость $v = v_0 + at$; $v_0 = 0$.

Следовательно, ускорение:

$$a_1 = \frac{v_1}{t_1} = \frac{5}{4}; \quad a_1 = 1,25 \text{ м/с}^2.$$

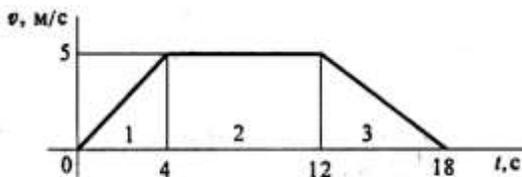


Рис. 14.6

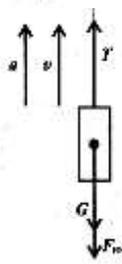


Рис. 14.7

Определяем усилие натяжения каната при подъеме с ускорением $T_1 = 2800(9,81 + 1,25) = 30968\text{Н}$; $T_1 = 30,97\text{кН}$.

2. **Рассмотрим участок 2** — равномерный подъем.

Ускорение и сила инерции равны нулю. Натяжение каната равно силе тяжести.

$$T_2 - G = 0; \quad T_2 = G = mg;$$

$$T_2 = 2800 * 9,81 \approx 28 \text{ кН}.$$

3. **Участок 3** — подъем с замедлением.

Ускорение направлено в сторону, обратную направлению подъема. Составим схему сил (рис. 14.8).

Уравнение равновесия: $F_{ин3} + T_3 - G = 0$. Отсюда

$$T_3 = G - F_{ин3} = mg - ma_3.$$

Ускорение (замедление) на этом участке определяется с учетом того, что $v = 0$.

$$v = v_0 + at; \quad a_2 = -0,83 \text{ м/с}^2$$

Натяжение каната при замедлении до остановки:

$$T_3 = 2800 * (9,81 - 0,83) = 25144 \text{ Н}; \quad T_3 = 25,14 \text{ кН}.$$

Таким образом, натяжение каната меняется при каждом подъеме и опускании, канат выходит из строя в результате усталости материала. Работоспособность зависит от времени.

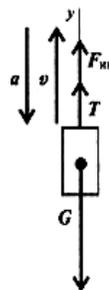


Рис. 14.8

Расчетно-графическая работа №3

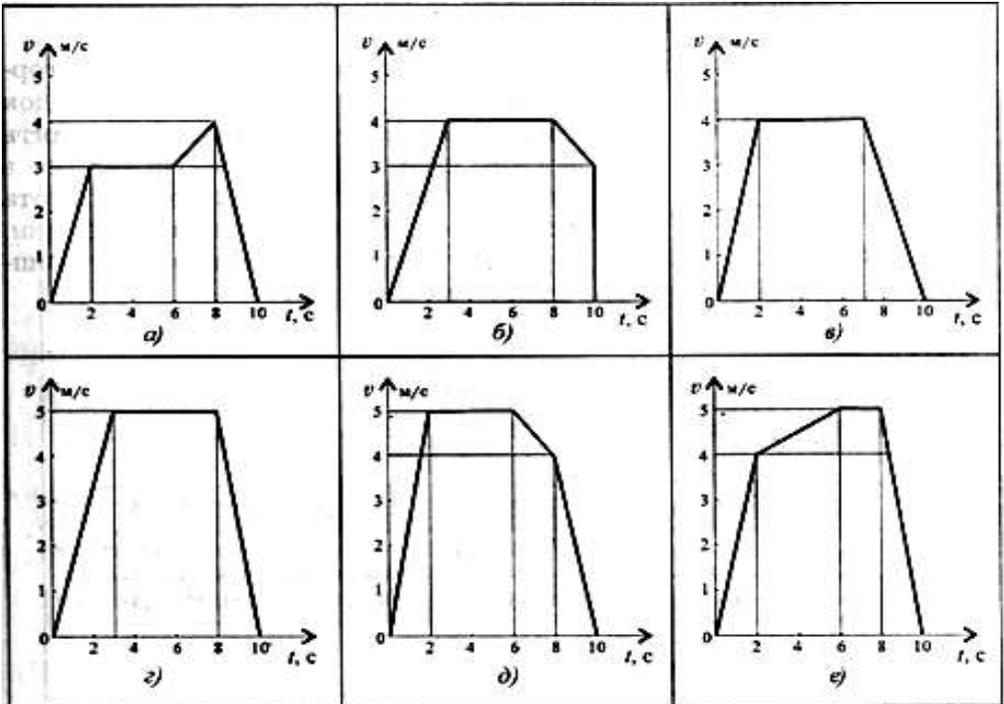
Тема: Работа и мощность. Общие законы динамики

Время выполнения – 2 часа.

Рекомендации по выполнению задания 1.

1. Используя принцип Даламбера, определить натяжение каната на каждом участке движения.
2. Определить максимальное натяжение каната.
3. По максимальному натяжению каната определить максимальную потребляемую мощность для подъема груза.
4. По заданной величине КПД механизма определить максимальную мощность двигателя.

Задание 1. Скорость кабины лифта массой m изменяется согласно графикам. Определить величину натяжения каната, на котором подвешен лифт, при подъеме и опускании. По максимальной величине натяжения каната определить потребляемую мощность электродвигателя.



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Масса m , кг	500	700	750	800	600	800	600	450	900	850
КПД механизма	0,8	0,75	0,8	0,75	0,8	0,75	0,8	0,75	0,8	0,75

Рекомендации по выполнению задания 2.

1. По величине усилия прижатия колодок к диску и заданному коэффициенту трения определить момент трения колодок.
2. Определить момент инерции диска.
3. Используя основное уравнение динамики, определить угловое ускорение (замедление) при торможении.
4. Из уравнения скорости при равнопеременном движении определить время торможения.

Задание 2. Шкив массой m тормозится за счет прижатия колодок силами 2 кН (рис. П5.1). Определить время торможения шкива, если в момент наложения колодок частота вращения шкива равна 450 об/мин. При расчете шкив принять за сплошной диск. Движение считать равнозамедленным.

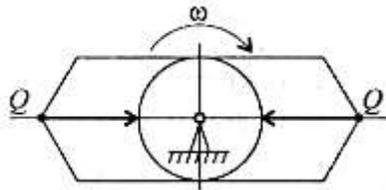


Рис. П5.1

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , м	0,45	0,45	0,55	0,45	0,36	0,35	0,28	0,30	0,32	0,34
m , кг	35					45				
f	0,35	0,42	0,42	0,35	0,45	0,44	0,43	0,36	0,37	0,38

Практическая работа №4.

Тема: Центр тяжести

Цели:

- Знать методы определения центра тяжести тела и плоских сечений, формулы для определения положения ЦТ плоских сечений.
- Уметь определять положение центра тяжести сложных геометрических фигур, определять положение центра тяжести фигур, составленных из стандартных профилей.

Время выполнения – 2 часа.

Основные формулы и предпосылки расчета

Центры тяжести простейших сечений (рис. ПЗ.1)

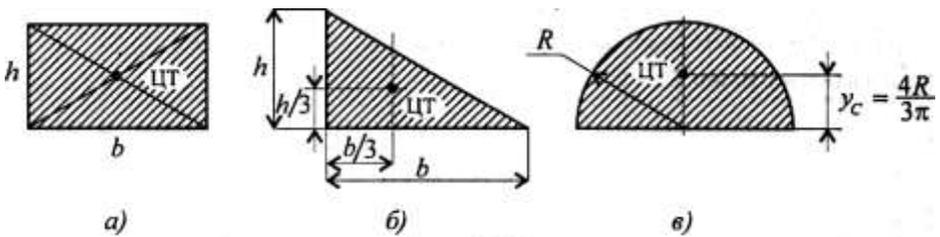


Рис. ПЗ.1

Геометрические характеристики стандартных прокатных профилей в Приложении 1.

Методы расчета:

1. метод симметрии;
2. метод разделения на простые части;
3. метод отрицательных площадей.

Координаты центров тяжести сложных и составных сечений:

$$x_C = \frac{\sum_0^n A_k x_k}{A}; \quad y_C = \frac{\sum_0^n A_k y_k}{A},$$

где A_k — площади частей сечения; x_k, y_k — координаты ЦТ частей сечения; A — суммарная площадь сечения,

$$A = \sum_0^n A_k.$$

Пример 1. Определить положение центра тяжести фигуры, представленной на рис. 8.4.

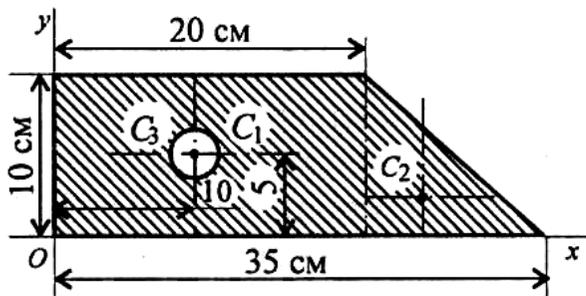


Рис. 8.4

Решение:

Разбиваем фигуру на три части:

$$\begin{aligned}
 & 1 - \text{прямоугольник,} \\
 & A_1 = 10 \cdot 20 = 200 \text{ см}^2; \\
 & 2 - \text{треугольник,} \\
 & A_2 = 1/2 \cdot 10 \cdot 15 = 75 \text{ см}^2; \\
 & 3 - \text{круг, } A_3 = \pi R^2; \\
 & A_3 = 3,14 \cdot 3^2 = 28,3 \text{ см}^2.
 \end{aligned}$$

ЦТ фигуры 1: $x_1 = 10$ см; $y_1 = 5$ см.

ЦТ фигуры 2: $x_2 = 20 + 1/3 \cdot 15 = 25$ см; $y_2 = 1/3 \cdot 10 = 3,3$ см.

ЦТ фигуры 3: $x_3 = 10$ см; $y_3 = 5$ см;

$$x_C = \frac{200 \cdot 10 + 75 \cdot 25 - 28,3 \cdot 10}{200 + 75 - 28,3} = 14,5 \text{ см.}$$

Аналогично определяется $y_C = 4,5$ см.

Пример 2. Определить координаты центра тяжести составного сечения. Сечение состоит из листа и прокатных профилей (рис. 8.5).

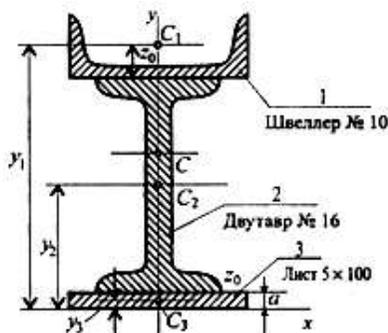


Рис. 8.5

Решение

2. Обозначим фигуры номерами и выпишем из таблиц необходимые данные (Приложение 1):

- 1 — швеллер № 10 (ГОСТ 8240-89); высота $h = 100$ мм; ширина полки $b = 46$ мм; площадь сечения $A_1 = 10,9$ см²;
- 2 — двуглав № 16 (ГОСТ 8239-89); высота 160 мм; ширина полки 81 мм; площадь сечения $A_2 = 20,2$ см²;
- 3 — лист 5x100; толщина 5 мм; ширина 100мм; площадь сечения $A_3 = 0,5 \cdot 10 = 5$ см².

3. Координаты центров тяжести каждой фигуры можно определить по чертежу.

Составное сечение симметрично, поэтому центр тяжести находится на оси симметрии и координата $x_C = 0$.

$$\text{Швеллер 1: } y_1 = a + h_2 + z_0; y_1 = 0,5 + 16 + 1,44 = 17,54 \text{ см.}$$

$$\text{Двуглав 2: } y_2 = a + \frac{h_2}{2}; y_2 = 0,5 + 16/2 = 8,5 \text{ см.}$$

$$\text{Лист 3: } y_3 = a/2 = 0,25 \text{ см.}$$

4. Определение центра тяжести составного сечения:

$$y_C = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{A_1 + A_2 + A_3},$$

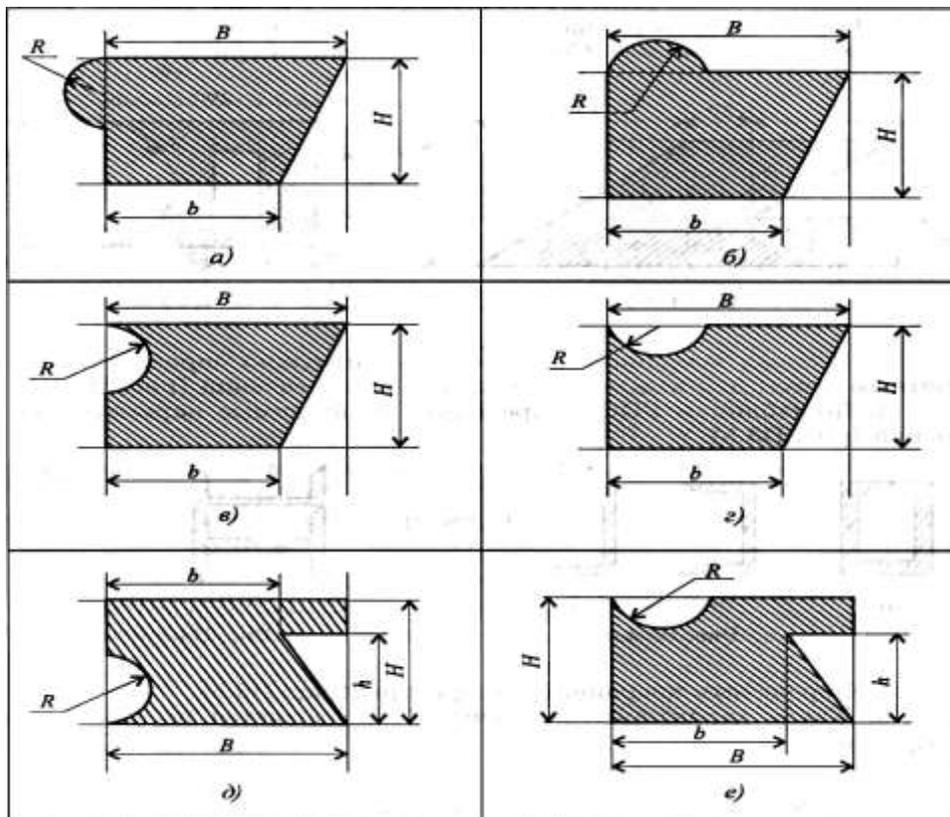
$$y_C = \frac{10,9 \cdot 17,54 + 20,2 \cdot 8,5 + 5 \cdot 0,25}{10,9 + 20,2 + 5} = 10 \text{ см.}$$

Расчетно-графическая работа №4.

Тема: Определение центра тяжести фигур

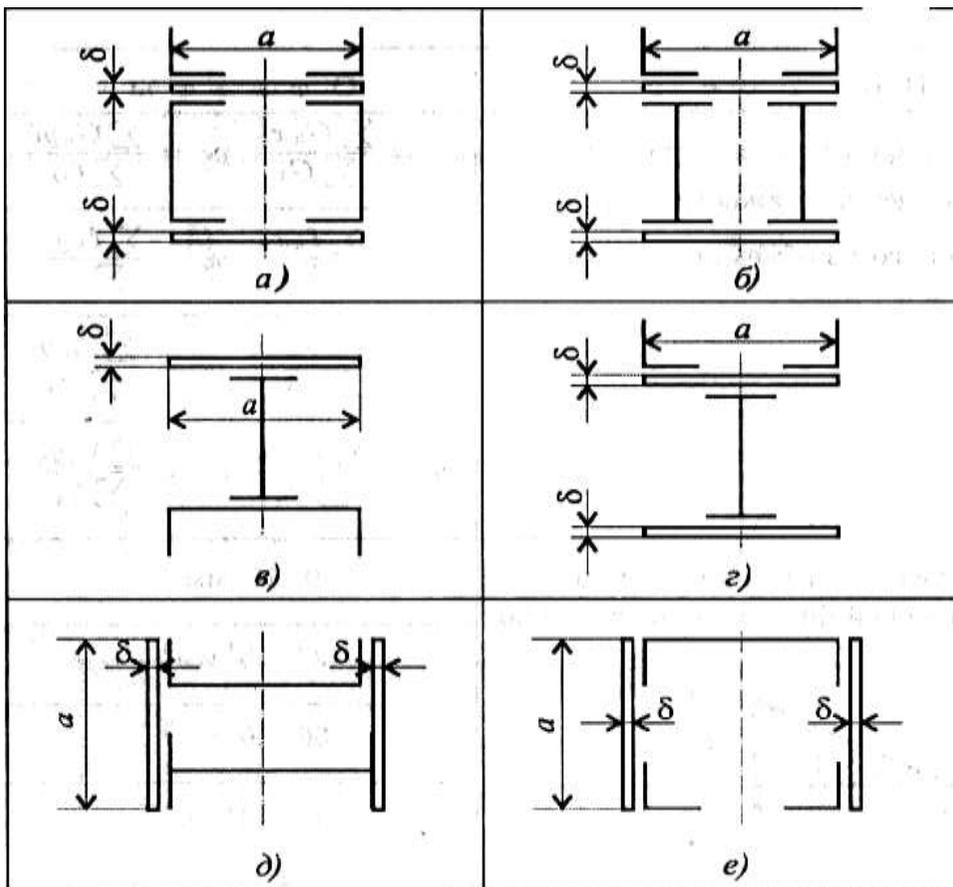
Время выполнения – 2 часа.

Задание 1. Определить координаты центра тяжести заданного сечения.



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B , мм	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
b , мм	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
H , мм	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
h , мм	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
R , мм	20	25	25	30	30	40	40	50	50	60

Задание 2. Определить координаты центра тяжести составного сечения. Сечения состоят из листов с поперечными размерами $a \times b$ и прокатных профилей по ГОСТ 8239-89, ГОСТ 8240-89 и ГОСТ 8509-86. Уголок выбирается наименьшей толщины. Размеры стандартных профилей в Приложении 1.



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ швеллера	18	18а	20	20а	22	22а	24	24а	27	30
№ двутавра	18	18а	20	20а	22	22а	24	24а	27	30
№ уголка	8	8	9	9	10	10	11	11	12,5	14
a , мм	180	200	200	220	220	240	240	260	270	300
δ , мм	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

Тема: Теоретическая механика

Время выполнения – 1 час.

Задача №1. Прямолинейное движение точки определяется уравнением $s=40+2t+0.5t^2$, где s – в метрах, t – в секундах. Определить скорость v , пройденный путь s и ускорение a через 10с после начала движения.

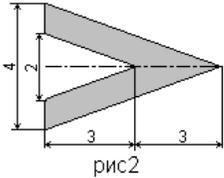
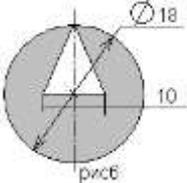
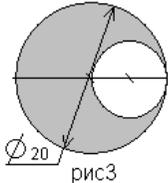
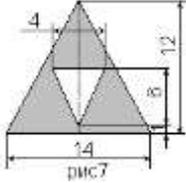
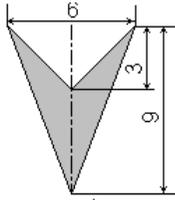
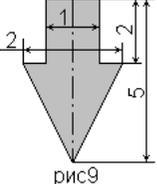
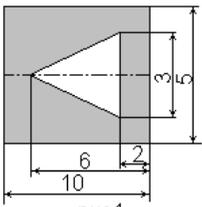
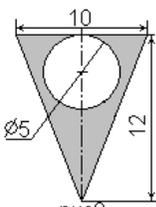
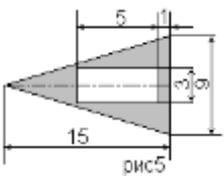
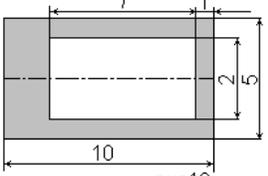
Задача №2. Груз массой $m=450\text{кг}$, подвешенный на стальном канате, спускается вниз с ускорением $a=2,5\text{м/с}^2$. Найти натяжение стального каната.

Задача №3. Определить положение центра тяжести для тонкой однородной пластины, форма и размеры которой, в сантиметрах, показаны на рис 3. Схему сечения для задачи своего варианта взять из табл. 3.

Таблица 3. Данные к задаче №3

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ схемы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ вар	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
№ схемы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Рисунок 3. Схема к задаче №3

<p>1.</p>  <p>рис2</p>	<p>6.</p>  <p>рис6</p>
<p>2.</p>  <p>рис3</p>	<p>7.</p>  <p>рис7</p>
<p>3.</p>  <p>рис1</p>	<p>8.</p>  <p>рис9</p>
<p>4.</p>  <p>рис4</p>	<p>9.</p>  <p>рис8</p>
<p>5.</p>  <p>рис5</p>	<p>10.</p>  <p>рис10</p>

ДЕТАЛИ МАШИН

Практическая работа №5.

Тема: Расчет подшипников качения

Время выполнения – 2 часа.

Пример 1. Подобрать подшипник качения для вала редуктора с цапфой $d=40$ мм. Проверить долговечность при частоте вращения $n = 1000$ об/мин; радиальная нагрузка $F_r = 2500$ Н, осевая нагрузка $F_a = 0$.

Решение:

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

$$C_0 = 18100 \text{ Н};$$

динамическая грузоподъемность

$$C = 25600 \text{ Н}.$$

Примем $k_\epsilon = 1,4$; $k_T = 1,0$.

Так как $F_a = 0$ и $C_0 = 0$, то следует:

$$X=1, Y=0.$$

Эквивалентная динамическая нагрузка:

$$P = (XV F_r + YF_a) k_\epsilon k_T = XV F_r k_\epsilon k_T = 1 \cdot 1 \cdot 2500 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 1,0 = 3500 \text{ (Н)}.$$

Расчетный ресурс в миллионах оборотов:

$$L = (C/P)^3 = (25600/3500)^3 = 390 \text{ (млн. об.)}$$

Расчетная долговечность в часах:

$$L_h = (L \cdot 10^6 / 60 \cdot n) = (390 \cdot 10^6 / 60 \cdot 1000) = 6500 \text{ (час.)}$$

Так как долговечность оказалась меньше минимальной нормы (10000 час.), то проверим подшипник средней серии № 308, у которого

$$C_0 = 22700 \text{ Н}; C = 31900 \text{ Н}.$$

$$L = (C/P)^3 = (31900/3500)^3 = 760 \text{ (млн. об.)}$$

$$L_h = (L \cdot 10^6 / 60 \cdot n) = (760 \cdot 10^6 / 60 \cdot 1000) = 12700 \text{ (час.)}$$

что допустимо.

Обозначение серий подшипников

Серия	Характеристика по ширине	Обозначение серии		Примеры обозначения серии
		3-я цифра справа	7-я цифра справа	
мелкогабаритные	разные	0	0	1000
ненормальные диаметры	неопределенные	9	0	900
неопределенные	неопределенные	8	0	800
		7	0	700
тяжелые	широкая	4	2	2086400
	узкая	4	0	400
средние	особоширокая	3	3	3056300
	широкая	6	0	3600
	нормальная	3	1	
	узкая	3	0	300
легкие	особоширокая	2	3	3056200
	широкая	5	0	3500
	нормальная	2	1	
	узкая	2	0	200
особолегкие	особоширокая	7	3	3003700
		1	4	4854100
	широкая	7	2	
		1	2	2007100
	нормальная	7	1	1007700
		1	0	100
узкая	7	7	7002700	
	1	7	7000100	
сверхлегкие	особоширокая	9	4	4032900
		8	3	3007800
	широкая	9	2	
		8	2	
	нормальная	9	1	1000900
		8	1	1000800
	узкая	9	7	7000900
		8	7	7000800

Пример 2. Подобрать подшипник качения при $F_a=1000 \text{ Н}$, если остальные данные как в примере 1.

Решение:

Наметим как и выше, подшипник №308. Отношение

$$F_a/C_0 = 1000/22700 = 0,044$$

находим интерполированием $e = 0,24$.

Так как

$$F_a/VE_r = 1000/1 \cdot 2500 = 0,4 > e.$$

то имеем $X = 0,56$; $Y = 1,85$.

Эквивалентная динамическая нагрузка:

$$P = (XV F_r + YF_a)k_6 k_T = (0,56 \cdot 1 \cdot 2500 + 1,85 \cdot 1000) \cdot 1,4 \cdot 1,0 = 4550 \text{ (Н)}.$$

Расчетный ресурс в миллионах оборотов:

$$L = (C/P)^3 = (31900/4550)^3 = 350 \text{ (млн. об.)}$$

Расчетная долговечность в часах:

$$L_h = (L \cdot 10^6 / 60 \cdot n) = (350 \cdot 10^6 / 60 \cdot 1000) = 5800 \text{ (час.)}$$

Долговечность недостаточна.

Проверим подшипник тяжелой серии № 408, у которого

$$C_0 = 37000, \text{ Н}, \quad C = 5030, \text{ Н}.$$

$$F_a/C_0 = 1000/37000 = 0,027$$

$$e = 0,22$$

$$F_a/VE_r = 1000/1 \cdot 2500 = 0,4$$

следовательно: $X = 0,56$; $Y = 1,99$;

$$P = (XV F_r + YF_a)k_6 k_T = (0,56 \cdot 1 \cdot 2500 + 1,99 \cdot 1000) \cdot 1,4 \cdot 1,0 = 4750 \text{ (Н)}.$$

$$L = (C/P)^3 = (50300/4750)^3 = 1200 \text{ (млн. об.)}$$

Расчетная долговечность в часах:

$$L_h = (L \cdot 10^6 / 60 \cdot n) = (1200 \cdot 10^6 / 60 \cdot 1000) = 20000 \text{ (час.)}$$

Такая долговечность приемлема.

Практическая работа №6.

Тема: Чтение сборочных чертежей

Время выполнения – 2 часа.

Задание 1. Прочитать сборочный чертеж изделия «Тиски». Составить сборно-разборную карту.

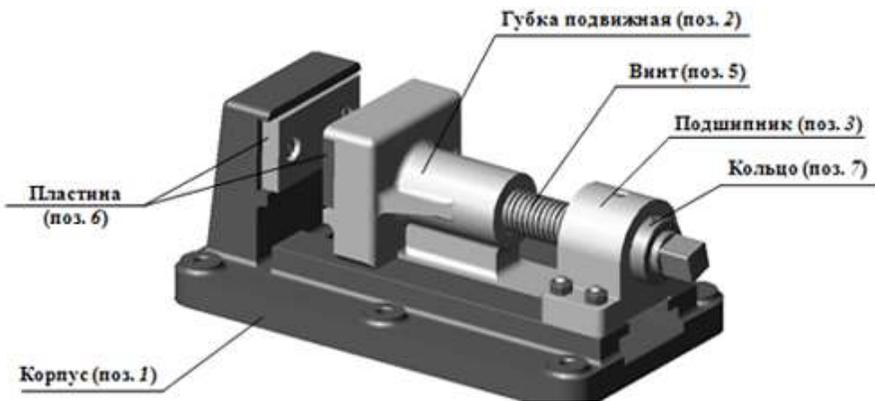


Рис.1 Тиски

Код	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
А3			НГТУ. ИГО218. 008 СБ	Сборочный чертеж		
				<u>Детали</u>		
А3	1		НГТУ. ИГО218. 001	Корпус	1	
А3	2		НГТУ. ИГО218. 002	Губка подвижная	1	
А3	3		НГТУ. ИГО218. 003	Подшипник	1	
А4	4		НГТУ. ИГО218. 004	Втулка	1	
А4	5		НГТУ. ИГО218. 005	Винт	1	
А4	6		НГТУ. ИГО218. 006	Пластина	2	
А4	7		НГТУ. ИГО218. 007	Кольцо	1	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		8		Винт М8х12 ГОСТ 1476-64	1	
		9		Винт 2М8х22 ГОСТ 1491-72	4	
		10		Гайка М8 ГОСТ 5915-70	4	
		11		Шпилька М8х35 ГОСТ 11765-66	4	
		12		Штифт 6х50 ГОСТ 3128-70	1	
НГТУ. ИГО218. 009						
Изм.	Лист	ИЗМ.	Лист	Дата		
Разработ.	Выполнил				Лист	Листов
Проф.	Школа №14					
Исполн.						
Вид.						
				ТУСКИ		

Практическая работа №7.

Тема: Расчет соединения на срез и смятие

Время выполнения – 4 часа.

Пример 1. Зубчатое колесо скреплено с барабаном грузоподъемной машины шестью болтами диаметром $d = 18$ мм, поставленными без зазоров в отверстия. Центры болтов расположены по окружности диаметром $D = 600$ мм (рис. 2.27). Определить из условия прочности болтов на срез величину допускаемого момента, который может быть передан через зубчатое колесо барабану. Допускаемое напряжение для болтов на срез $[\tau] = 80 \text{ Н/мм}^2$.

Решение

Момент, который может передать болтовое соединение колеса с барабаном по рис. 2.27, определится из формулы

$$[M] = n [Q] \cdot 0,5D,$$

где n — число болтов, для нашего случая $n = 6$; $[Q]$ — допускаемое по условию прочности на срез усилие, передаваемое одним болтом; $0,5D$ — плечо усилия, передаваемого болтом относительно оси вращения вала.

Вычислим допускаемое усилие, которое может передать болт по условию прочности на срез

$$[Q] = (\pi d^2 / 4) [\tau] = (3,14 \cdot 18^2 / 4) 80 = 20,4 \cdot 10^3 \text{ Н} = 20,4 \text{ кН}.$$

Подставив значение $[Q]$ в формулу для момента, найдем

$$[M] = n [Q] 0,5D = 6 \cdot 20,4 \cdot 0,5 \cdot 0,6 = 36,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

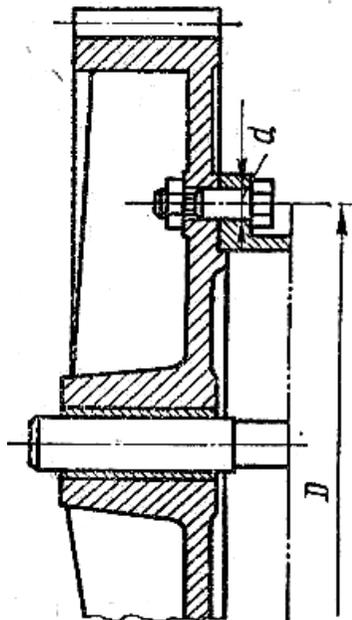


Рис. 2.27

Пример 2. Проверить прочность сварного соединения угловыми швами с накладкой. Действующая нагрузка 60 кН, допускаемое напряжение металла шва на сдвиг 80 МПа.

Решение

1. Нагрузка передается последовательно через два шва слева, а далее — два шва справа (рис. 24.4). Разрушение угловых швов происходит по площадкам, расположенным под углом 45° к поверхности соединяемых листов.

2. Проверим прочность сварного соединения на срез. Двухсторонний угловой шов можно рассчитать по формуле

$$\tau_c = \frac{Q}{A_c} \leq [\tau_c],$$

где

$Q = F$; $A_c = 2 \cdot 0,7 K b$, A_c — расчетная площадь среза шва; K — катет шва, равен толщине накладки; b — длина шва.

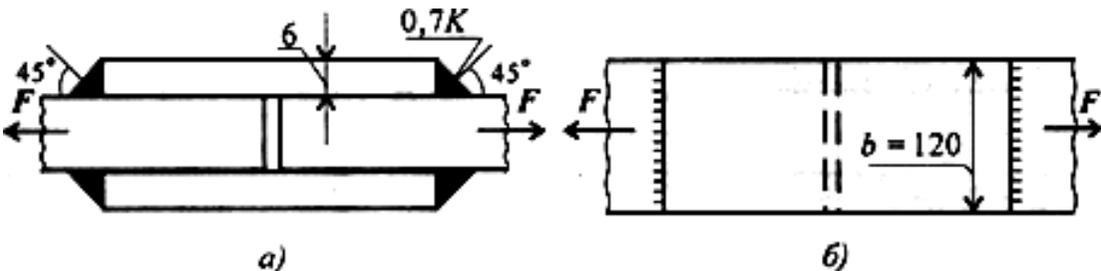


Рис. 24.4

Следовательно,

$$\tau_c = \frac{60 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 120} = 59,5 \text{ МПа},$$

59,5 МПа < 80 МПа.

Расчетное напряжение меньше допускаемого, прочность обеспечена.

Пример 3. Определить потребное количество заклепок для передачи внешней нагрузки 120 кН. Заклепки расположить в один ряд. Проверить прочность соединяемых листов. Известно: $[\sigma] = 160$ МПа; $[\sigma_{см}] = 300$ МПа; $[\tau_c] = 100$ МПа; диаметр заклепок 16 мм.

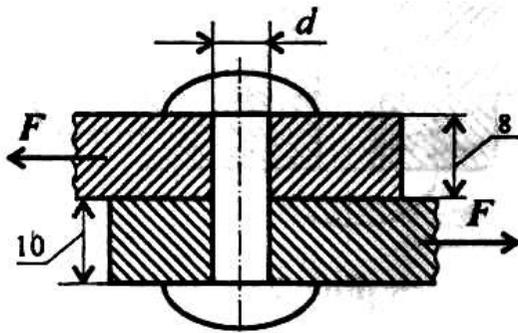


Рис. 24.1

Решение:

1. Определить количество заклепок из расчета на сдвиг (рис. 24.1).
Условие прочности на сдвиг:

$$\tau_c = \frac{Q}{A_c} \leq [\tau_c]; \quad Q = \frac{F}{z};$$

$$\tau_c = \frac{F}{z A_c} \leq [\tau_c],$$

$$\text{где } A_c = \pi r^2;$$

z — количество заклепок.

Откуда

$$z \geq \frac{F}{A_c [\tau_c]}; \quad z = \frac{120 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 8^2 \cdot 100} = 5,97 \approx 6.$$

Таким образом, необходимо 6 заклепок.

2. Определить количество заклепок из расчета на смятие. Условие прочности на смятие:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F'}{A_{\text{см}}} \leq [\sigma_{\text{см}}]; \quad F' = \frac{F}{z}; \quad z \geq \frac{F}{A_{\text{см}}[\sigma_{\text{см}}]},$$

$A_{\text{см}} = d\delta_{\text{мин}}$; F' — нагрузка на одну заклепку.

$$\text{Откуда} \quad z \geq \frac{120 \cdot 10^3}{8 \cdot 16 \cdot 300} = 3,12.$$

Таким образом, необходимо 4 заклепки.

Для обеспечения прочности на сдвиг (срез) и смятие необходимо 6 заклепок. Для удобства установки заклепок расстояние между ними и от края листа регламентируется. Шаг в ряду (расстояние между центрами) заклепок $3d$; расстояние до края $1,5d$. Следовательно, для расположения шести заклепок диаметром 16 мм необходима ширина листа 288мм. Округляем величину до 300мм ($b = 300\text{мм}$).

3. Проверим прочность листов на растяжение. Проверяем тонкий лист. Отверстия под заклепки ослабляют сечение, рассчитываем площадь листа в месте, ослабленном отверстиями (рис. 24.2):

$A = (b - zd)\delta = (300 - 6 \cdot 16) \cdot 8 = 1632 \text{ мм}^2$. Условие прочности на растяжение:

$$\sigma_{\text{р}} = N/A \leq [\sigma_{\text{р}}]; \quad \sigma_{\text{р}} = \frac{120 \cdot 10^3}{1632} = 73,53 \text{ МПа.}$$

73,53 МПа < 160 МПа. Следовательно, прочность листа обеспечена.

Пример 4. Проверить прочность заклепочного соединения на срез и смятие. Нагрузка на соединение 60 кН, $[\tau_c] = 100$ МПа; $[\sigma_{см}] = 240$ МПа.

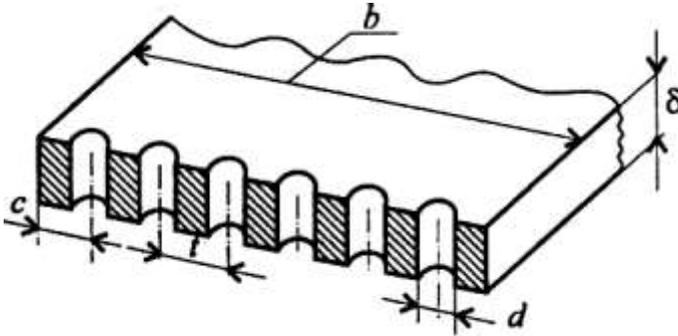


Рис. 24.2

Решение:

1. Соединение двухсрезными заклепками последовательно воспринимается тремя заклепками в левом ряду, а затем тремя заклепками в правом ряду (рис. 24.3).

Площадь сдвига каждой заклепки $A_c = 2\pi r^2$. Площадь смятия боковой поверхности $A_{см} = d\delta_{мин}$.

2. Проверим прочность соединения на сдвиг (срез).

$Q = F/z$ — поперечная сила в поперечном сечении заклепки:

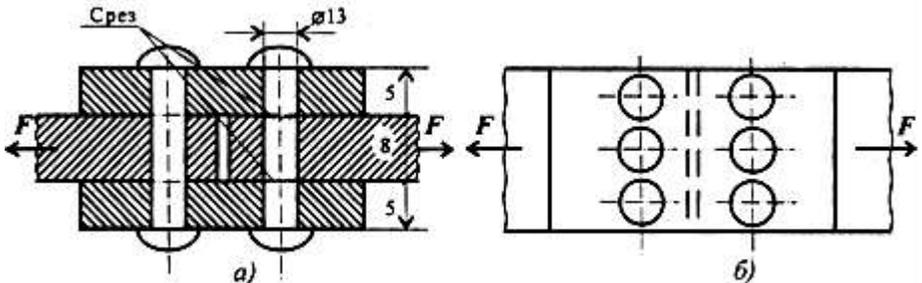


Рис. 24.3

$$\tau_c = \frac{F}{zA_c}; \quad \tau_c = \frac{60 \cdot 10^3}{3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 6,5^2} = 75,4 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа.}$$

Прочность на сдвиг обеспечена.

3. Проверим прочность соединения на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{zA_{см}}; \quad \sigma_{см} = \frac{60 \cdot 10^3}{3 \cdot 13 \cdot 8} = 192,3 \text{ МПа} < 240 \text{ МПа.}$$

Прочность заклепочного соединения обеспечена.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

Тема: Детали машин. Соединение деталей

Время выполнения – 2 часа.

Задание 1. Определить требуемый диаметр заклепки в нахлесточном соединении, если передаваемая сила $Q = 120$ кН, толщина листов $\delta = 10$ мм. Допускаемые напряжения на срез $[\tau] = 100$ Н/мм², на смятие $[\sigma_{см}] = 200$ Н/мм² (рис. 2.25). Число заклепок в соединении $n = 4$ (два ряда по две заклепки в каждом).

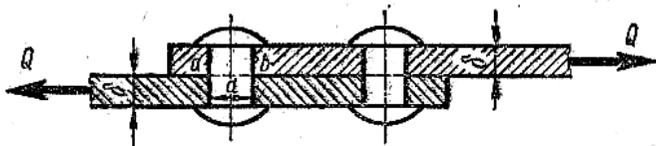


Рис. 2.25

Задание 2. Два листа с поперечными размерами $\delta_1 = 14$ мм, $b = 280$ мм соединены двусторонними накладками толщиной каждая $\delta_2 = 8$ мм (рис. 2.26). Соединение передает растягивающее усилие $Q = 520$ кН. Определить число заклепок диаметром $d = 20$ мм, которое необходимо поставить с каждой стороны стыка. Проверить также прочность листа по опасному сечению, учитывая, что заклепки поставлены по две в ряд ($k = 2$, рис. 2.26). Допускаемое напряжение на срез заклепок $[\tau] = 140$ Н/мм², на смятие $[\sigma_{см}] = 250$ Н/мм², на растяжение листов $[\sigma] = 160$ Н/мм².

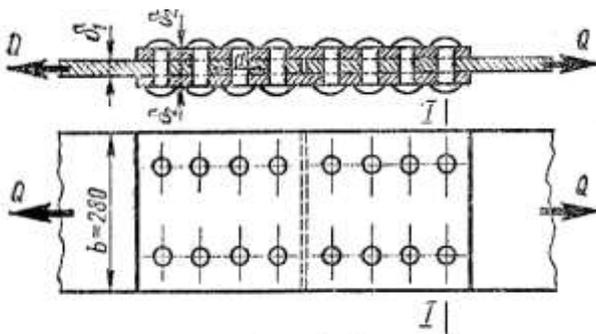
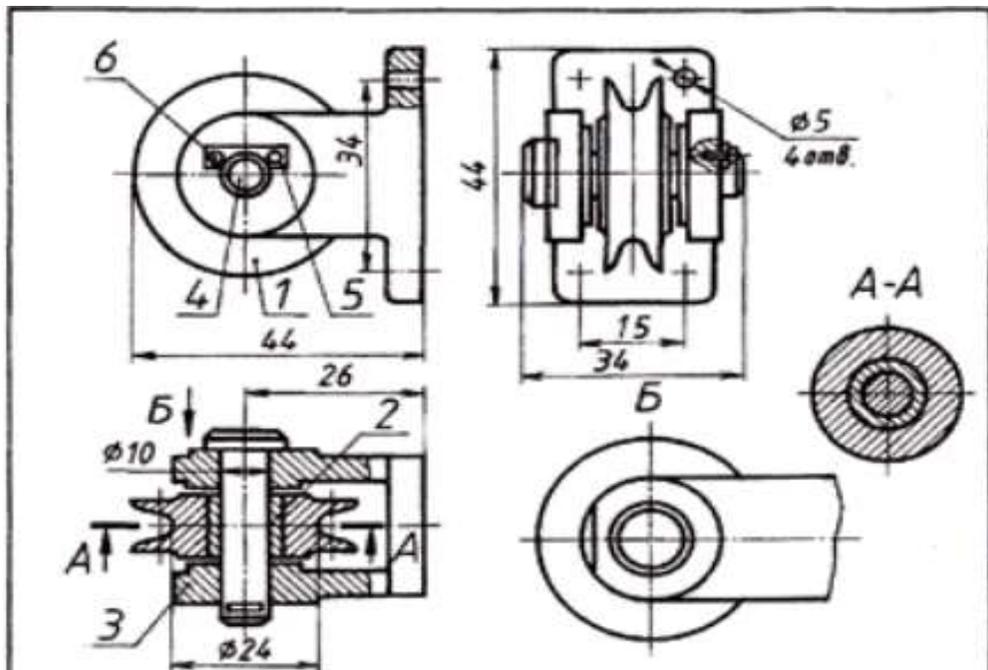


Рис. 2.26

Задание 3. Прочитать сборочный чертеж Блока. Составить сборно-разборную карту.



Поз.	Наименование	Кол.	Материал	Примечание
<u>Детали</u>				
1	Ролик	1	Сталь 45	
2	Втулка	1	Бронза	
3	Вилка	1	Серый чугун	
4	Ось	1	Сталь 45	
5	Планка	1	Сталь Ст.5	
<u>Стандартные изделия</u>				
6	Болт М3×5	2	Сталь 45	
Блок. Сборочный чертеж				N°
чертил	Шведов	Масштаб	Материал	Шкала, класс Дата
проверил	Князев			

Практическая работа №8.

Тема: Чтение кинематических схем. Расчет передаточного отношения

Время выполнения – 4 часа.

Цель работы:	овладеть навыками кинематического, силового и геометрического расчета передач. В результате выполнения практической работы студенты
	должны уметь: <ul style="list-style-type: none">- выбирать детали зубчатых передач;- выполнять кинематические, геометрические и силовые расчеты; должны знать: <ul style="list-style-type: none">- виды механических передач, методы кинематического и силового расчета;- методы расчета параметров механических передач;
Порядок выполнения практической работы	<ol style="list-style-type: none">1. Усвоить теоретический материал по теме «Цилиндрические зубчатые передачи», «Расчет на прочность цилиндрических косозубых передач».2. По таблице выписать данные соответствующие варианту и начертить схему привода в тетради.3. Произвести расчеты, сделать чертежи по полученным параметрам.

Теоретическая часть

Расчет цилиндрических косозубых колес редуктора

Выбирается материал со средними механическими свойствами

Допускаемые контактные напряжения

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlimb} \cdot K_{HL}}{[S_H]}$$

где, σ_{Hlimb} – предел контактной выносливости;

$$\sigma_{Hlimb} = 2HB + 70;$$

K_{HL} – коэффициент долговечности; $K_{HL} = 1$

$[S_H]$ – коэффициент безопасности; $[S_H] = 1,1$

Для косозубых колес расчетное допускаемое контактное напряжение

$$[\sigma_n] = 0,45 \cdot \{[\sigma_n] + [\sigma_n]\}$$

Допускаемые напряжения изгиба

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_F^0 \lim b}{[S_F]},$$

где $\sigma_F^0 \lim b$ - предел выносливости, для стали 45 улучшенной, по таблице 3.9[1]

$[S_F]$ - коэффициент безопасности

Межосевое расстояние из условия контактной выносливости

$$a_w = K_o \cdot (u_s + 1) \cdot \sqrt{\frac{T_3 \cdot K_{H\beta}}{[\sigma_H]^2 \cdot u_s^2 \cdot \Psi_{\infty}}};$$

где K_o - коэффициент формы зуба

Ψ_{∞} - коэффициент ширины венца, принимается;

$K_{H\beta}$ - коэффициент учитывающий неравномерность распределения нагрузки, по таблице 3.1[1].

Нормальный модуль

$$m_n = (0,01 \div 0,02) a_w;$$

Угол наклона и число зубьев шестерни и колеса

Предварительно принимается угол наклона зубьев $\beta = 10^\circ$

Число зубьев шестерни и колеса.

$$Z_1 = \frac{2 \cdot a_w \cdot \cos \beta}{(u + 1) m_n};$$

$$Z_2 = Z_1 \cdot u;$$

Уточняется передаточное отношение

$$u' = \frac{Z_2}{Z_1};$$

Уточненное значение угла наклона зубьев

$$\cos \beta = \frac{(Z_1 + Z_2) \cdot m_n}{2 a_w};$$

Основные размеры шестерни и колеса

Делительные диаметры

$$d_1 = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot Z_1;$$

$$d_2 = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot Z_2;$$

Диаметр вершин зубьев

$$d_{a_1} = d_1 + 2 m_n$$

$$d_{a_2} = d_2 + 2 m_n$$

Диаметр окружности впадин

$$d_{f_1} = d_1 - 2,5 m_n$$

$$d_{f_2} = d_2 - 2,5 m_n$$

ширина венца колеса:

$$b_2 = \Psi_{\text{оо}} \cdot a_w;$$

ширина венца шестерни:

$$b_1 = b_2 + 5 \text{ мм};$$

Проверка межосевого расстояния

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2};$$

Силы, действующие в зацеплении

Окружная сила

$$F_t = \frac{2 \cdot T_2}{d_1};$$

Радиальная

$$F_r = F_t \cdot \frac{\text{tg} \alpha}{\cos \beta};$$

Осевая

$$F_o = F_t \cdot \text{tg} \beta;$$

Окружная скорость колес

$$v = \frac{\omega_2 \cdot d_1}{2};$$

Коэффициент ширины шестерни по диаметру

$$\Psi_{\text{оо}} = \frac{b_1}{d_1};$$

Коэффициент нагрузки

$$K_H = K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\nu};$$

где $K_{H\beta}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца по таблице 3.5[1]

$K_{H\alpha}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между зубьями по таблице 3.4[1]

$K_{H\nu}$ - коэффициент, учитывающий динамическое действие нагрузки по таблице 3.6[1]

Проверка зубьев колес по контактным напряжениям

$$\sigma_H = \frac{270}{a_w} \cdot \sqrt{\frac{T_2 K_H \cdot (u+1)^2}{b_2 \cdot u_p^2}};$$

Коэффициент нагрузки

$$K_F = K_{F\beta} \cdot K_{F\nu};$$

где $K_{F\beta}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по длине зуба по таблице 3.7[1]

$K_{F\nu}$ - коэффициент, учитывающий динамическое действие нагрузки по таблице 3.8[1]

Эквивалентное число зубьев

Шестерни

$$Z_{\beta 1} = \frac{Z_1}{\cos^3 \beta};$$

Колеса

$$Z_{\beta} = \frac{Z_2}{\cos^3 \beta};$$

Принимается Y_F - коэффициент, учитывающий форму зуба
 страница 42[1]

Дальнейший расчет ведется для зубьев колеса.

Проверка зубьев по напряжениям изгиба

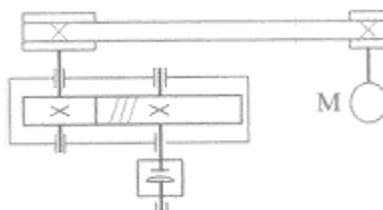
$$\sigma_F = \frac{F_t \cdot K_f \cdot Y_F \cdot Y_{\beta} \cdot K_{F\beta}}{b_2 \cdot m_n};$$

Таблица исходных данных

Вар.№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T_3 Нм	230	240	250	260	300	400	480	120	140	150	270	450	500	200	210
$u_{ред}$	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	1,4	1,8	2,24	2,8	3,55	4,5	1,25	1,6
n_3 об/мин	60	70	90	60	50	55	70	80	90	60	55	70	60	90	85

Вар.№	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
T_3 Нм	250	300	340	420	200	220	230	240	360	380	180	250	270	350	410
$u_{ред}$	2	2,5	3,15	4	1,4	1,2	2,24	2,8	3,55	4,5	1,25	1,6	2	2,5	3,15
n_3 об/мин	70	50	60	70	100	110	120	80	70	60	115	100	95	70	40

Пример расчета



Исходные данные: $T_3 = 191$ Нм; $u_{ред} = 2,5$; $n_3 = 90$ об/мин.

Выбирается материал со средними механическими свойствами. Для колеса и шестерни сталь 45, термическая обработка улучшение. По таблице 3.3[1]

для колеса – НВ 200;

для шестерни – НВ 230.

Допускаемые контактные напряжения

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlimb} \cdot K_{H\beta}}{[S_H]}$$

где, σ_{Hlimb} – предел контактной выносливости;

$$\sigma_{Hlimb} = 2HB + 70;$$

Для шестерни

$$\sigma_{Hlimb} = 2 \cdot 230 + 70 = 530 \text{ МПа};$$

Для колеса $\sigma_{H\lim b} = 2 \cdot 200 + 70 = 470 \text{ МПа}$;

K_{HL} – коэффициент долговечности; $K_{HL} = 1$

$[S_H]$ – коэффициент безопасности; $[S_H] = 1,1$

для шестерни $[\sigma_{H1}] = \frac{530 \cdot 1}{1,1} \approx 482 \text{ МПа}$;

для колеса $[\sigma_{H2}] = \frac{470 \cdot 1}{1,1} \approx 428 \text{ МПа}$;

Для косозубых колес расчетное допускаемое контактное напряжение

$$[\sigma_s] = 0,45 \cdot ([\sigma_{s1}] + [\sigma_{s2}])$$

$$[\sigma_s] = 0,45 \cdot (482 + 428) \approx 410 \text{ МПа}$$

Условие $[\sigma_s] \leq 1,23[\sigma_{s1}]$ выполнено.

Допускаемые напряжения изгиба

$$[\sigma_y] = \frac{\sigma_f^0 \lim b}{[S_F]}$$

где $\sigma_f^0 \lim b$ – предел выносливости, для стали 45 улучшенной, по таблице 3.9[1] при $HB \leq 350$; $\sigma_f^0 \lim b = 1,8HB$

для шестерни: $\sigma_f^0 \lim b = 1,8 \cdot 230 = 415 \text{ МПа}$

для колеса: $\sigma_f^0 \lim b = 1,8 \cdot 200 = 360 \text{ МПа}$

$[S_F]$ – коэффициент безопасности $[S_F] = 1,75$

для шестерни $[\sigma_{y1}] = \frac{415}{1,75} = 237 \text{ МПа}$

для колеса $[\sigma_{y2}] = \frac{360}{1,75} = 206 \text{ МПа}$

Межосевое расстояние из условия контактной выносливости

$$a_w = K_o \cdot (u + 1) \sqrt[3]{\frac{T_3 \cdot K_{H\beta}}{[\sigma_H]^2 \cdot u^2 \cdot \Psi_{\omega}}}$$

где K_o – коэффициент формы зуба $K_o = 43$;

Ψ_{ω} – коэффициент ширины венца, принимается $\Psi_{\omega} = 0,4$;

$K_{H\beta} = 1,25$ – коэффициент учитывающий неравномерность распределения нагрузки, по таблице 3.1[1].

$$a_w = 43 \cdot (2,5 + 1) \sqrt[3]{\frac{191 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{410^2 \cdot 2,5^2 \cdot 0,4}} = 124,6 \text{ мм}$$

Принимается ближайшее стандартное $a_w = 125 \text{ мм}$;

Нормальный модуль

$$m_n = (0,01 + 0,02)a_w$$

$$m_n = (0,01 + 0,02) \cdot 125 = 1,25 + 2,5 \text{ мм}$$

Принимается из стандартного ряда $m_n = 2 \text{ мм}$

Угол наклона и число зубьев шестерни и колеса

Предварительно принимается угол наклона зубьев $\beta = 10^\circ$

Число зубьев шестерни и колеса.

$$Z_1 = \frac{2 \cdot a_w \cdot \cos \beta}{(u + 1)m_n}$$

$$Z_1 = \frac{2 \cdot 125 \cdot 0,985}{(2,5+1) \cdot 2} = 35;$$

Принимается $Z_1 = 35$, тогда

$$Z_2 = Z_1 \cdot u,$$

$$Z_2 = 35 \cdot 2,5 \approx 88;$$

Уточняется передаточное отношение

$$u_p = \frac{Z_2}{Z_1};$$

$$u_p = \frac{88}{35} = 2,51; \quad \Delta = \frac{2,51 - 2,5}{2,5} \cdot 100\% = 0,4\%, \text{ что допустимо.}$$

Уточненное значение угла наклона зубьев

$$\cos \beta = \frac{(Z_1 + Z_2) \cdot m_n}{2a_w};$$

$$\cos \beta = \frac{(35 + 88) \cdot 2}{2 \cdot 125} = 0,984;$$

$$\beta = 10^\circ 12';$$

Основные размеры шестерни и колеса

Делительные диаметры

$$d_1 = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot Z_1;$$

$$d_1 = \frac{2}{0,984} \cdot 35 = 71 \text{ мм};$$

$$d_2 = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot Z_2;$$

$$d_2 = \frac{2}{0,984} \cdot 88 = 179 \text{ мм};$$

Диаметр вершин зубьев

$$d_{a1} = d_1 + 2m_n$$

$$d_{a1} = 71 + 2 \cdot 2 = 75 \text{ мм};$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m_n$$

$$d_{a2} = 179 + 2 \cdot 2 = 183 \text{ мм};$$

Диаметр окружности впадин

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m_n$$

$$d_{f1} = 71 - 2,5 \cdot 2 = 66 \text{ мм};$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5m_n$$

$$d_{f2} = 179 - 2,5 \cdot 2 = 174 \text{ мм};$$

ширина венца колеса:

$$b_2 = \Psi_{ac} \cdot a_w;$$

$$b_2 = 0,4 \cdot 125 = 50 \text{ мм};$$

ширина венца шестерни:

$$b_1 = b_2 + 5 \text{ мм};$$

$$b_1 = 50 + 5 \text{ мм} = 55 \text{ мм};$$

Принимается $b_2 = 50 \text{ мм}$ и $b_1 = 55 \text{ мм}$.

Проверка межосевого расстояния

$$a_v = \frac{d_1 + d_2}{2};$$
$$a_v = \frac{71 + 179}{2} = 125 \text{ мм};$$

Силы, действующие в зацеплении

Окружная сила

$$F_t = \frac{2 \cdot T_2}{d_1};$$
$$F_t = \frac{2 \cdot 79,5 \cdot 10^3}{71} = 2240 \text{ Н};$$

Радиальная

$$F_r = F_t \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta};$$
$$F_r = 2240 \cdot \frac{0,364}{0,984} = 829 \text{ Н};$$

Осевая

$$F_o = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta;$$
$$F_o = 2240 \cdot 0,18 = 403 \text{ Н};$$

Окружная скорость колес

$$v = \frac{\omega_2 \cdot d_1}{2};$$
$$v = \frac{23,56 \cdot 71}{2 \cdot 10^3} = 0,84 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

При такой скорости принимается 8 – я степень точности зубчатых колес.

Коэффициент ширины шестерни по диаметру

$$\Psi_{bt} = \frac{b_1}{d_1};$$
$$\Psi_{bt} = \frac{55}{71} = 0,77;$$

Коэффициент нагрузки

$$K_H = K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\nu};$$

где $K_{H\beta}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца по таблице 3.5[1] $K_{H\beta} = 1,03$;

$K_{H\alpha}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между зубьями по таблице 3.4[1] $K_{H\alpha} = 1,06$;

$K_{H\nu}$ - коэффициент, учитывающий динамическое действие нагрузки по таблице 3.6[1] $K_{H\nu} = 1,0$;

$$K_H = 1,06 \cdot 1,03 \cdot 1,0 = 1,09;$$

Проверка зубьев колес по контактным напряжениям

$$\sigma_H = \frac{270}{a_v} \cdot \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_H \cdot (u+1)^2}{b_2 \cdot u^2}};$$
$$\sigma_H = \frac{270}{125} \cdot \sqrt{\frac{191 \cdot 10^3 \cdot 1,09 \cdot (2,5+1)^2}{50 \cdot 2,5^2}} = 365 \text{ МПа} < [\sigma_H] = 410 \text{ МПа};$$

Условие прочности выполнено.

Коэффициент нагрузки

$$K_F = K_{F\beta} \cdot K_{Fv}$$

где $K_{F\beta}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по длине зуба по таблице 3.7[1] $K_{F\beta} = 1,08$;

K_{Fv} - коэффициент, учитывающий динамическое действие нагрузки по таблице 3.8[1] $K_{Fv} = 1,1$

$$K_F = 1,08 \cdot 1,1 = 1,188;$$

Эквивалентное число зубьев

Шестерни $Z_{F1} = \frac{Z_1}{\cos^3 \beta};$

$$Z_{F1} = \frac{35}{0,984^3} = 36,7;$$

Колеса

$$Z_{F2} = \frac{Z_2}{\cos^3 \beta};$$

$$Z_{F2} = \frac{88}{0,984^3} = 92,4;$$

Принимается Y_F - коэффициент, учитывающий форму зуба страница 42[1] $Y_{F1} = 3,75$; $Y_{F2} = 3,61$.

Отношения $\frac{[\sigma_F]}{Y_F}$

Шестерни $\frac{237}{3,75} = 63,2 \text{ МПа}$

Колеса $\frac{206}{3,61} = 57 \text{ МПа}$

Дальнейший расчет ведется для зубьев колеса.

Проверка зубьев по напряжениям изгиба

$$\sigma_F = \frac{F_t \cdot K_F \cdot Y_F \cdot Y_\beta \cdot K_{Fv}}{b_2 \cdot m_n};$$

Где, $Y_\beta = 1 - \frac{\beta}{140} = 0,927$;

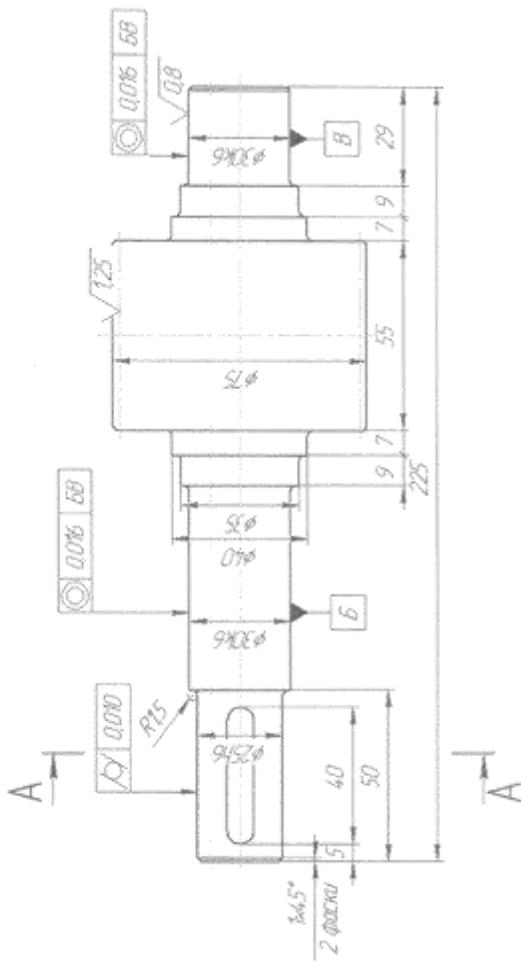
$K_{Fv} = 0,92$; (страница.47[1])

$$\sigma_F = \frac{2240 \cdot 1,188 \cdot 3,61 \cdot 0,927 \cdot 0,92}{50 \cdot 2} = 82 \text{ МПа} \quad ([\sigma_{F2}] = 206 \text{ МПа});$$

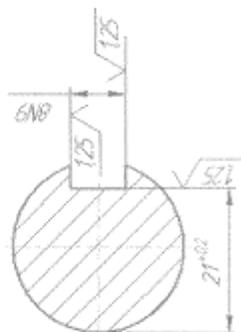
Условие прочности выполнено.

√25(√1)

Модуль нормальный	т _н	2
Число зубьев	z	35
Нормальный исходный контур	ГОСТ	13755-81
Коэффициент смещения	x	0
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	8 - с
Диаметральный диаметр	d	71
Угол наклона зуба	β	30°12'



A-A (2:1)



- 1 Термозакалка улучшение HB 230
- 2 Неказанные предельные отклонения размеров отверстий H14, болот H14.

№ п. изм.	№ докум.	Подп.	Дата	Диаг.	Исполн.
Вал - шестерня				Мат.	Масштаб
Сталь 45 ГОСТ 1050-88				№1	1
Котировка					

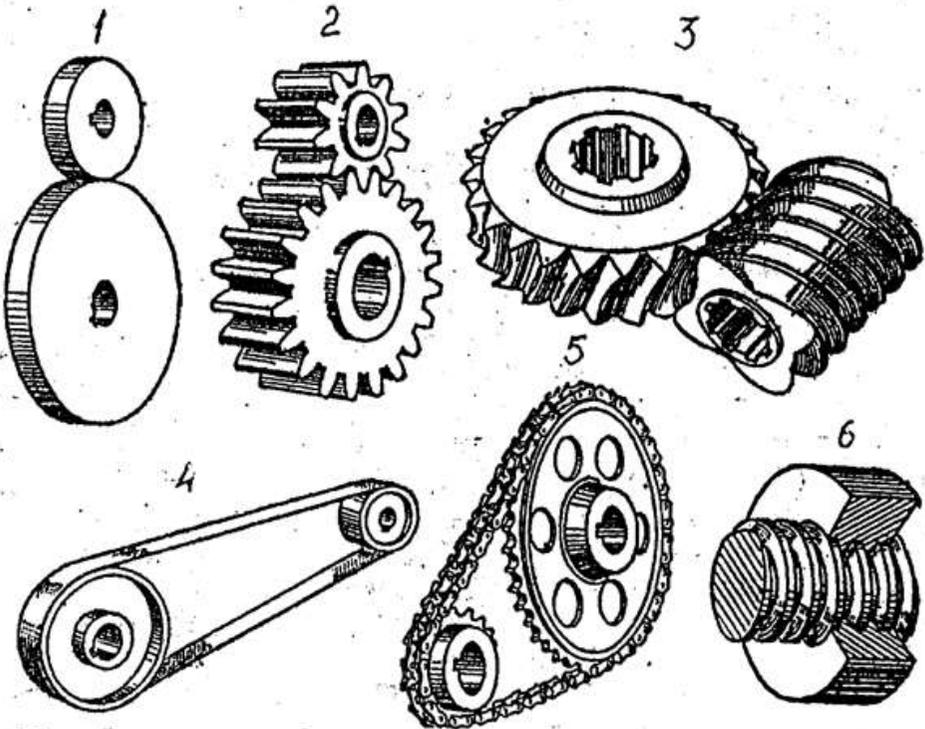
Лист 1 из 1

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №3

Тема: Механические передачи

Время выполнения – 2 часа.

Задание. По рисунку определить виды передач. Для каждого вида механической передачи написать особенности, классификации (если есть), основные характеристики, критерии работоспособности и по каким параметрам ведется расчет передачи.



Список рекомендуемой литературы

1. Завистовский В.Э. Техническая механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Э. Завистовский, Л.С. Турищев. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 368 с. — 978-985-503-444-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67748.html>
2. Кривошапко С.Н. Техническая механика [Электронный ресурс] : конспект лекций / С.Н. Кривошапко. — Электрон. текстовые данные. — М. : Российский университет дружбы народов, 2013. — 64 с. — 978-5-209-05239-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22222.html>
3. Соколовская В.П. Техническая механика [Электронный ресурс] : лабораторный практикум. Пособие / В.П. Соколовская. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2010. — 270 с. — 978-985-06-1878-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20148.html>