Министерство образования Иркутской области
ГБПОУ ИО «Бодайбинский горный техникум»

Утверждаю:
Зам. директора по УР
_____ Шпак М.Е.
« 01 » сентября 2017 г

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ОП.04, ОП.05 ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Специальности:	21.02.14 Маркшейдерское дело 21.02.15 Открытые горные работы 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)
Форма обучения:	Очная, заочная

Рекомендована методическим советом
ГБПОУ ИО «Бодайбинский горный техникум»
Заключение методического совета,
протокол №11 от 01.09.2017 г.
председатель методсовета
_____ /Шпак М.Е./

Бодайбо, 2017

Задания и методические указания учебной дисциплины разработаны на основе ФГОС СПО, утвержденного приказами Минобрнауки России:

- от 12.05.2014 № 495 «Об утверждении федерального государственного стандарта среднего профессионального стандарта среднего профессионального образования по ППССЗ (программе подготовки специалистов среднего звена) 21.02.14 Маркшейдерское дело,
- от 12 мая 2014 г. № 496, зарегистрированного Министерством юстиции (рег. № 32773 от 18 июня 2014 г.), а также на основе примерной программы, правообладатель: ФГАУ «Федеральный институт развития образования» для специальности 21.02.15 Открытые горные работы.
- от 28 июля 2014 г. № 831, зарегистрированного Министерством юстиции (регистрационный № 33635 от 19 августа 2014 г.), а также на основе примерной программы, правообладатель: ФГАУ «Федеральный институт развития образования» для специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям).

Организация-разработчик: ГБПОУ ИО «Бодайбинский горный техникум»

Разработчик:
Н. М. Гомзякова, преподаватель общепрофессиональных дисциплин.

Рассмотрено и утверждено на заседании ПЦК электромеханических дисциплин
Протокол № 1 от 31.08 2017г
Председатель Грязнов /Гр/

Содержание

Общие положения по практическим работам……..….4
Тематический план по выполнению практических работ по дисциплине……5
Практическая работа № 1 Плоская система произвольно расположенных сил……..…6
Практическая работа № 2 Простейшие движение твердого дела……....8
Практическая работа № 3 Работа и мощность……..…11
Практическая работа № 4 Растяжение и сжатие……...14
Практическая работа № 5 Кручение……..16
Практическая работа № 6 Изгиб……19
Литература……24

Общие положения
по практическим работам

Цели и задачи учебной дисциплины – требования к результатам освоения учебной дисциплины:

уметь:

определять напряжения в конструкционных элементах; определять передаточное отношение;

проводить расчет и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения;

проводить сборочно-разборочные работы в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц; производить расчеты на сжатие, срез и смятие;

производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость;

собирать конструкции из деталей по чертежам и схемам;

читать кинематические схемы;

знать:

виды движений и преобразующие движения механизмы;

виды износа и деформаций деталей и узлов;

виды передач; их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах;

кинематику механизмов, соединения деталей машин, механические передачи, виды и устройство передач;

методику расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации; методику расчета на сжатие, срез и смятие;

назначение и классификацию подшипников;

характер соединения основных сборочных единиц и деталей;

основные типы смазочных устройств;

типы, назначение, устройство редукторов;

трение, его виды, роль трения в технике;

устройство и назначение инструментов и контрольно-измерительных приборов, используемых при техническом обслуживании и ремонте оборудования

Тематический план по выполнению практических работ по дисциплине.

п/п	Наименование работ	Цель работы	Кол-во часов	Примечание
1	Плоская система произвольно расположенных сил	Научиться определять реакции в опорах	6	Для МД, ОГР, ТЭО
2	Простейшие движения твёрдого тела	Уметь определять кинематические параметры при разных видах движения	4	Для МД, ОГР, ТЭО
3	Работа и мощность	Уметь рассчитывать работу и мощность	4	Для МД, ОГР, ТЭО
4	Растяжение и сжатие	Научиться строить эпюры продольных сил и напряжений при растяжении и сжатии	6	Для МД, ОГР, ТЭО
5	Кручение	Научиться проводить расчёты валов на прочность при кручении	6	Для МД, ОГР, ТЭО
6	Изгиб	Научиться строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, выполнять проектный рас-	6	Для МД, ОГР, ТЭО

		чёт балки на изгиб		
	Итого:		32	Для МД, ОГР, ТЭО

Практическая работа № 1

Тема: Плоская система произвольно расположенных сил.

Цель работы:

1. Научиться заменять наклонную силу ***F*** её проекциями на оси ***x*** и ***y***, т. е. рассчитывать ***Fx*** и ***Fy.***
2. Заменять равномерно-распределённую нагрузку ***q*** одной сосредоточенной силой ***Q.***
3. Уметь заменять опоры их реакциями. (Знать реакции шарнирно-подвижных и шарнирно неподвижных опор);
4. Составлять уравнения равновесия и определять реакции в опорах балочных систем ***Rx, Ry.***
5. Выполнять проверку правильности решения.

Дано:

I. Варианты заданий:

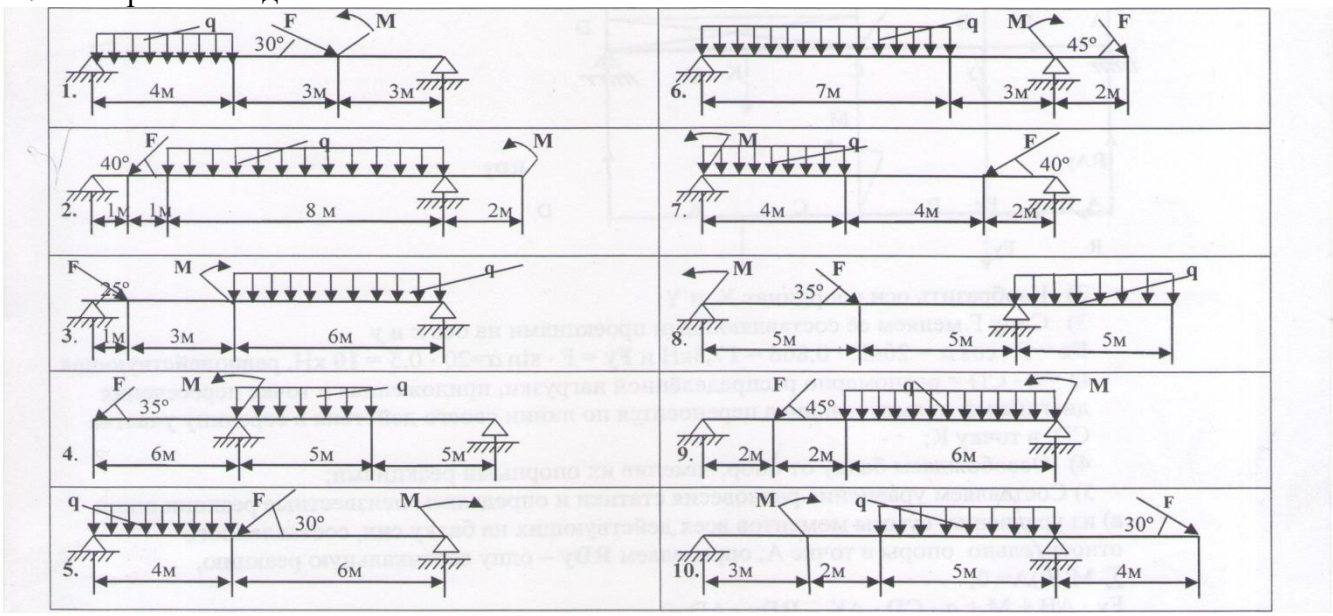


Рис.1.1

Таблица 1.1

№ варианта	№ схемы	**q**	*Ед.изм.*	**F**	*Ед.изм.*	**M**	*Ед.изм.*
1	1	5	*Н/м*	40	*Н*	10	Н·м
2	2	1	*Н/м*	60	*Н*	54	Н·м
3	3	5	*Н/м*	80	*Н*	25	Н·м
4	4	4	*Н/м*	10	*Н*	8	Н·м
5	5	5	*Н/м*	50	*Н*	35	Н·м
6	6	8	*Н/м*	12	*Н*	20	Н·м
7	7	2	*Н/м*	50	*Н*	35	Н·м
8	8	4	*Н/м*	18	*Н*	15	Н·м
9	9	4	*Н/м*	15	*Н*	20	Н·м
10	10	10	*Н/м*	16	*Н*	12	Н·м

II. Методические указания

Плоской системой произвольно расположенных сил называется система сил, линии действия которых лежат на одной плоскости, но не пересекаются в одной точке.

Условие равновесия плоской системы произвольно расположенных сил: Алгебраическая сумма проекций всех сил на оси **X** и **Y** должна быть равна нулю и алгебраическая сумма моментов всех сил

относительно точки приведения должна быть равна нулю (точка приведения в данном случае – это точка опоры).

Пример решения задачи:

Требуется определить реакции двух опор балки.

Последовательность решения задачи:

1) Изобразить балку вместе с нагрузками и оси координат X и Y;

2) Дано: F = 20 кН, M = 10 кН⋅м, q = 1 кН/м, α = 30°

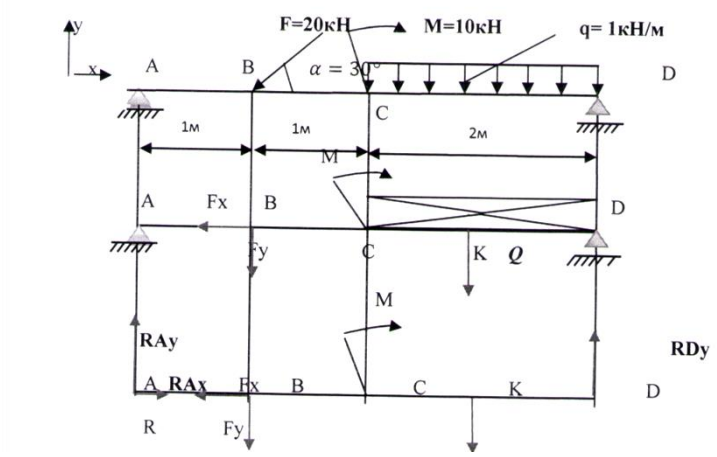


Рис.1.2

3) Наклонную силу F = 20 кН заменяем её составляющими проекциями на ось ***x*** и *y*, получаем: Fx = $F \cdot \cos\alpha$ = 20 · 0,866 = **17.3** кН и Fy = $F \cdot \sin\alpha$ = 20 · 0.5 = **10** кН, как катеты прямоугольного треугольника.

Равномерно распределённую нагрузку заменяем сосредоточенной силой **Q**, которая приложена в точке K, точке пересечения диагоналей прямоугольника и переносится по линии своего действия в середину участка CD, т. е. **Q** = q · CD = 1кН/м · 2 м = **2** кН

4) Освобождаем балку от опор, заменив их опорными реакциями. Так как опора в точке A неподвижная, значит у неё две составляющие реакции **RAy** и **RAx,** направляем по осям X и Y (направление задаём самостоятельно). В точке D опора подвижная, заменяем её одной вертикальной силой **RDy**, направляем вверх параллельно оси Y (*если в расчётах получится отрицательное значение, то первоначальное направление реакций опор зачеркнём и направим их в противоположную сторону*).

Составляем ***четыре уравнения равновесия*** и определяем неизвестные реакции опор:

Из ***первого уравнения равновесия*** - суммы моментов всех действующих на балку сил, составленного относительно опоры в точке A, определяем **RDy –** одну вертикальную реакцию,

(1) $\sum M(Fi)A = 0;$ ⟶ *RDy*:

Fy · AB + M + **Q** · AK – RDy · AD = 0, решаем составленное уравнение:

RDy = $\frac{Fy \cdot AB + M + q \cdot CD \cdot AK}{AD} = \frac{10 \cdot 1 + 10 + 2 \cdot 3}{4} = \mathbf{6{,}5}$ кН

Из ***второго уравнения равновесия*** - суммы моментов всех действующих на балку сил, составленного относительно опоры в точке D, определяем **RAy -** вторую вертикальную реакцию:

(2) $\sum M(Fi)D = 0;$ ⟶ *RAy*

RAy · AD - Fy · BD + M – **Q** · KD = 0, решаем составленное уравнение:

RAy = $\frac{Fy \cdot BD - M + Q \cdot KD}{AD} = \frac{F\sin\alpha \cdot BD - M + Q \cdot KD}{AD} = \frac{20 \cdot 0{,}5 \cdot 3 - 10 + 2 \cdot 1}{4} = \mathbf{5{,}5}$ кН

Из ***третьего уравнения равновесия*** – суммы проекций всех сил на ось X, определяем ***RAx*** - горизонтальную реакцию опоры в точке A:

(3) $\sum Fix = 0;$ ⟶ *RAx*

RAx – Fx = 0, решаем составленное уравнение:

RAx = Fx = F$\cos\alpha$ = 20 · 0,866 = **17,3** кН

Из ***четвёртого уравнения равновесия*** – суммы проекций всех сил на ось Y, проверяем правильность найденных результатов:

(4) $\sum Fiy = 0;$

RAy – Fy – Q + RDy = 5,5 -10 -2 + 6,5 = 0

Вывод: Условия равновесия выполняется.

Ответ: RAx =17,3 kH; RAy = 5,5 kH; RDy = 6,5 kH.

Практическая работа №2

Тема: Простейшие движение твердого дела.

Цель работы: уметь определять кинематические параметры тела при поступательном и вращательном движениях, определять параметры любой точки тела.

Дано: Шкив вращается в соответствии с ниже приведёнными кинематическими графиками (6 вариантов). Определить число оборотов шкива ($z_{общ.}$) и общий угол поворота ($\varphi_{общ}$) за время вращения шкива.

Кинематические графики

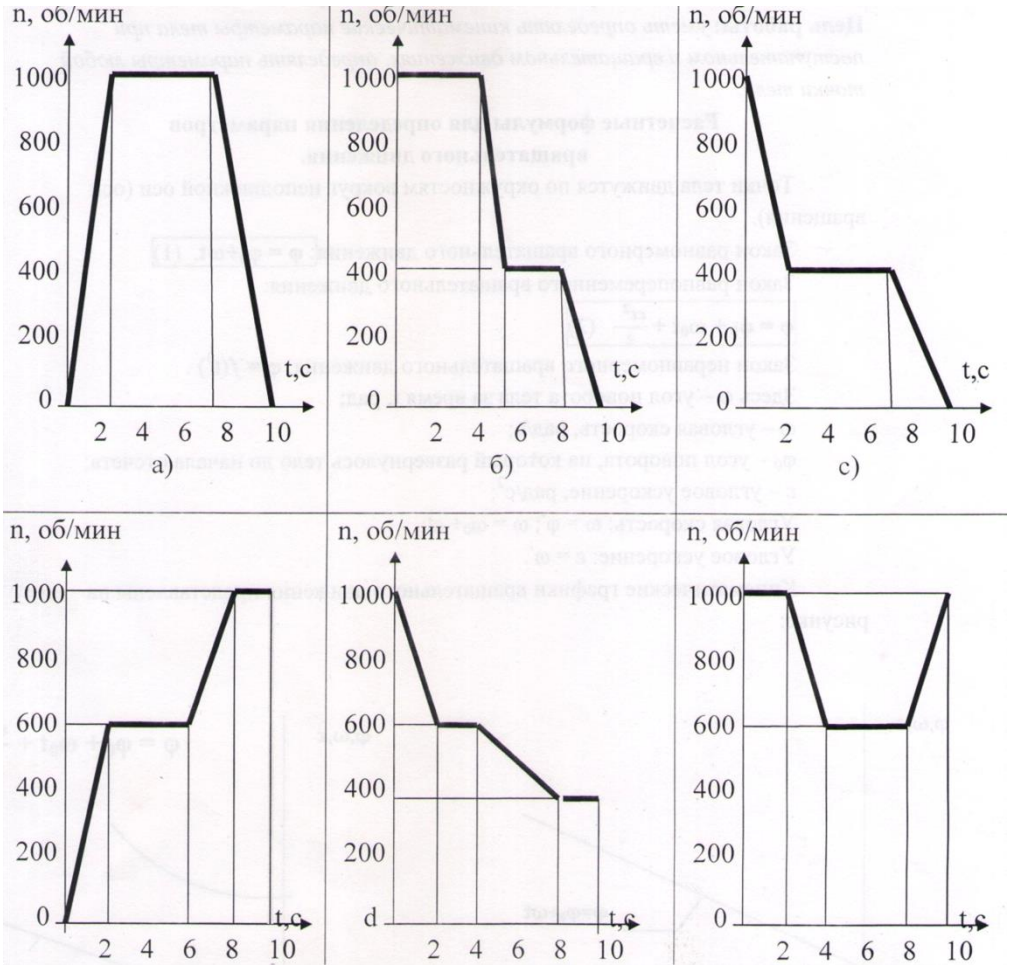


Рис.2.1

Методические рекомендации для решения задач

I. Расчетные формулы для определения параметров поступательного движения тела. Все точки тела движутся одинаково.

Закон равномерного движения: $S = S_0 + Vcp \cdot t$

Закон равнопеременного движения: $S = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{a\tau}{2}$

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

V_0 – начальная скорость движения, м/с;

$a\tau$ - постоянное касательное ускорение, м/с^2

Скорость: $V = S / t = V_0 + a\tau \cdot t$

Ускорение: $a\tau = V'$.

Закон неравномерного движения: S= f(t)

II. Расчетные формулы для определения параметров вращательного движения тела.

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

Закон равномерного вращательного движения: $\varphi = \varphi_0+\omega t$. (1)

Закон равнопеременного вращательного движения:

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

ε – угловое ускорение, рад/с^2;

Угловая скорость: $\omega = \varphi'$; $\omega = \omega_0 + \varepsilon t$;

Угловое ускорение: $\varepsilon = \omega'$.

Число оборотов вращения тела: $z = \varphi/ 2\pi$ (3)

Угловая скорость рад/с: $\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}$ (4)

Кинематические графики вращательного движения представлены на рисунке 2.1

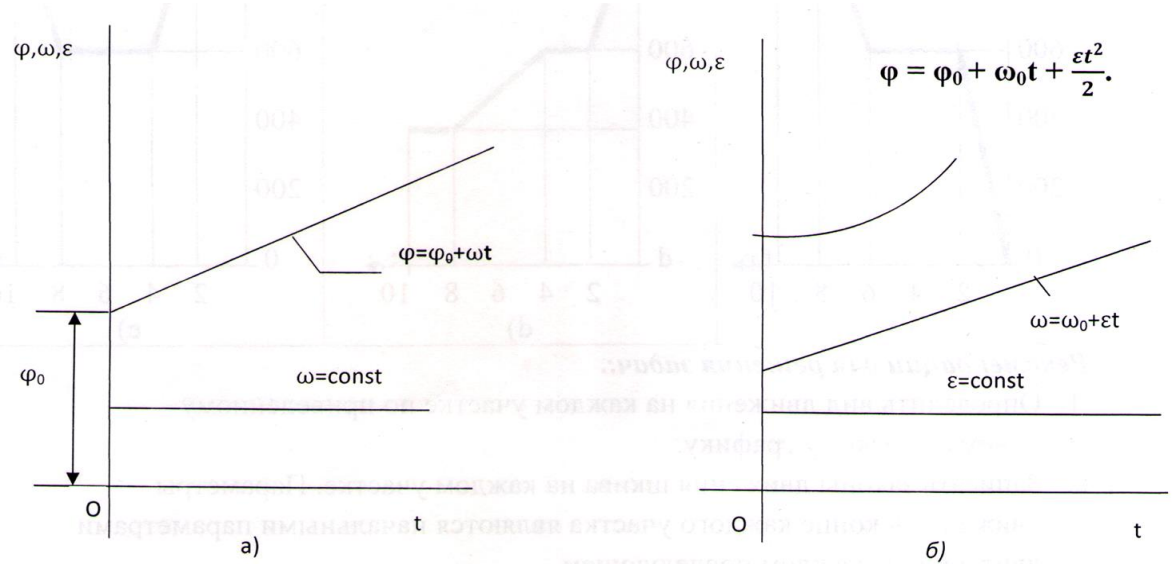


Рис.2.2

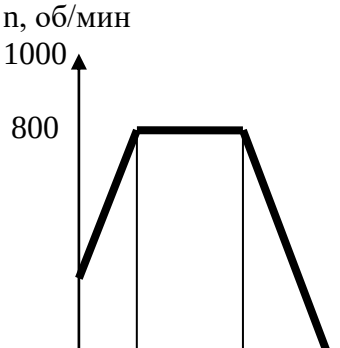
III. Разбить график движения шкива на участки и определить вид движения на каждом участке по приведенному кинематическому графику.

IV. Записать законы движения шкива на каждом участке. Параметры движения в конце каждого участка являются начальными параметрами движения на каждом последующем.

V. Определить полный угол поворота шкива за время вращения. Использовать формулу для перехода от угловой скорости к угловому ускорению $\varepsilon = (\omega - \omega_0)/t$ (5)

VI. Определить полное число оборотов шкива, используя формулу (3).

Пример решения задачи:



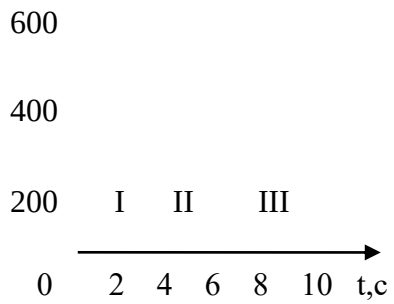


Рис.2.3

1 участок Вид движения - *равноускоренное.* Записываем закон движения по формуле (2):

$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$ $\varphi_0 = 0$; (4) $\omega_0 = \frac{\pi n}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 400}{30} = 41{,}9$ *рад/с*

t = 2 с – по графику; $\varepsilon = (\omega - \omega_0) / t$ - формула (5);

$\varepsilon = (83{,}8 - 41{,}9)/2 = 20{,}95$ *рад/с²;* $\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 800}{30} = 83{,}8$ *рад/с;*

Подставив значения в формулу (2), получим:

$\varphi_1 = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} = 0 + 41{,}9 \cdot 2 + 20{,}95 \cdot 2^2/2 = 125{,}7$ *рад;*

$z1 = \frac{\varphi}{2\pi} = 125{,}7/2 \cdot 3.14 = 20$ *оборотов* – по формуле (3);

2 участок: Вид движения – *равномерное.*

Записываем закон движения по формуле (1):

$\varphi_2 = \varphi_0 + \omega t = 0 + 83{,}8 \cdot 4 = 335{,}2$ *рад;*

$z2 = \frac{\varphi}{2\pi} = 335{,}2/2 \cdot 3.14 = 53{,}4$ *оборота*.

3 участок: Вид движения – *равнозамедленное.*

Записываем закон движения по формуле (2):

$\varphi_3 = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} = 0 + 83{,}8 \cdot 4 - 20.95 \cdot 4^2/2 = 167{,}6$ *рад;*

$\varepsilon = (\omega - \omega_0)/t = (0 - 83{,}8)/4 = -20{,}95$ *рад/с²;*

$z3 = \frac{\varphi}{2\pi} = 167{,}6/2 \cdot 3.14 = 26{,}7$ *оборотов.*

Угол поворота

$\varphi_{общ.} = 125{,}7 + 335{,}2 + 167{,}6 = 628{,}5$ *рад*

Количество оборотов

$z_{общ.} = 20 + 53{,}4 + 26.7 = 100{,}1$ *оборота.*

Практическая работа №3

Тема: Работа и мощность.

Цель: Знать зависимости для определения мощности при поступательном движении, коэффициент полезного действия (КПД). Знать основные уравнения динамики при поступательном движении твердого тела.

Уметь рассчитывать мощность с учетом потерь на трение и сил инерции, определять параметры движения с помощью теорем динамики.

Расчетные формулы.

Мощность при поступательном движении

(1) $\boxed{P = \frac{W}{t}}$

где W – работа, *Дж. (Н· м)*; t – время, *с*; P – мощность, *Вт*.

Работа при поступательном движении.

(2) $\boxed{W = F \cdot S \cdot \cos\alpha}$

где W – работа, *Дж. (Н· м)*; F – постоянная сила, Н; S - путь, м; α – угол между направлениями силы и перемещением.

Коэффициент полезного действия

(3) $\text{КПД } (\acute{\eta}) = \frac{P_{пол}}{P_{затр}}$

где $P_{пол}$ - полезная мощность, *Вт;* $P_{затр}$ – затраченная мощность, *Вт.*

Сила инерции

$F_{ин} = - ma$, (4)

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

Две основные задачи динамики

1. Определить параметры движения по заданным силам;
2. Определить силы, действующие на тело, по заданным кинематическим параметрам движения.

Дано: 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 потребную мощность электродвигателя.*

Графики движения лифта (6 вариантов)

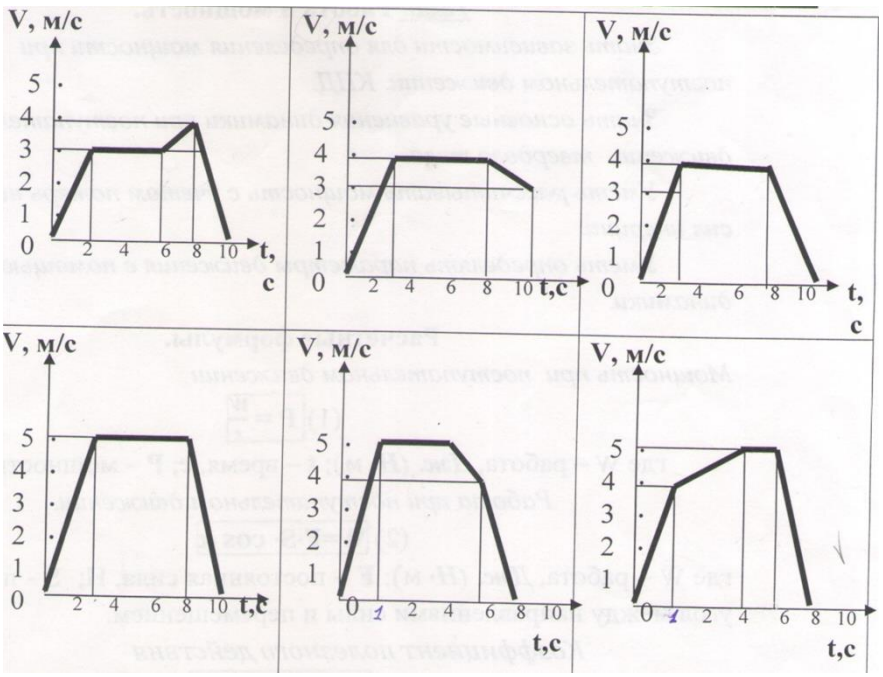


Рис.3.1

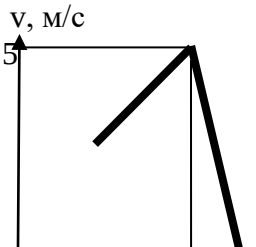
Таблица 3.1

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.

1. Используя принцип Даламбера $\sum(Fi + Fин)y = 0$, (5) определить натяжение каната кабины лифта на каждом участке движения.
2. Определить максимальное натяжение каната.
3. По максимальному натяжению каната определить максимальную потребную мощность для подъема груза.
4. По заданной величине КПД механизма определить затраченную мощность двигателя

Пример решения задачи:



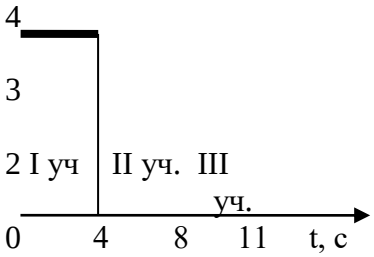
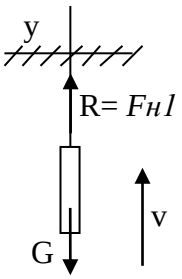


Рис. 3.2

Дано:
m =500 кг
ή = 0,8

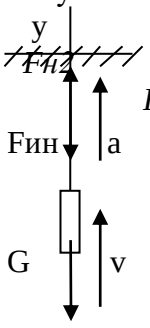
Рзатр. - ?
Решение:
I участок. Решаем 2-ю основную задачу динамики,т. е. по виду движения определяем силы, действующие на систему:
Вид движения – движение равномерное, сила инерции, Fин = 0, реакция связи (трос) будет равна силе натяжения каната R = Fн, G = m·g .
Рисуем схему лифта и составляем по принципу Даламбера уравнение кинетостатики:



Fн1 - G=0; Fн1 = G=mg = 500 · 10=5000 Н

Рис. 3.3

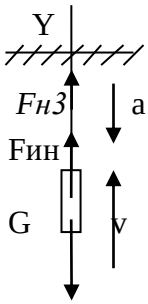
II участок.
Вид движения – движение равноускоренное, возникает сила инерции *Fин,* направленная в противоположную *ускорению* сторону
Рисуем схему лифта и составляем по принципу Даламбера уравнение кинетостатики:



Fн2– Fин – G = 0;
Fн2 = Fин + G =ma + mg=m(a+g)=500(0,25+10) = 5125 Н
$a = \frac{v-v_0}{t}$ = (5-4)/4= 0.25 м/$с^2$ (данные берём из графика)

Рис. 3.4

III участок.
Вид движения – движение равнозамедленное, возникает сила инерции ***Fин,*** направленная в противоположную *ускорению* сторону
Рисуем схему лифта и составляем по принципу Даламбера уравнение кинетостатики:



Fн3 + Fин – G = 0; Fн3 = G- Fин= mg - ma=m (g- a)=500(10-1,7) = 4150 Н

a = $\frac{v-v_0}{t}$ = (0-5)/3= 1,7 м/$с^2$ (данные берём из графика)

Рис.3.5

Из трёх участков выбираем максимальную силу натяжения и его рассчитываем. На втором участке *Fн2=5125 Н*. Для этого участка считаем потребную мощность электродвигателя по формулам (1), (2), (3):

W = Fн·S = 5125· 18 = 92250 Дж;

S = $V_0 \cdot t$ +a· $t^2/2 = 4 \cdot 4+0.25 \cdot 16/2 = 18$ м

Рполез. = 92250/4 =23062,5 Вт

Ответ: Рзатр. = Рполез./ή =23062,5/0,8=28828,1 Вт

Практическая работа № 4.

Тема: Растяжение и сжатие.

Цель работы: Научиться строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определять деформацию растяжения или сжатия ступенчатого бруса, нагруженного внешними силами.

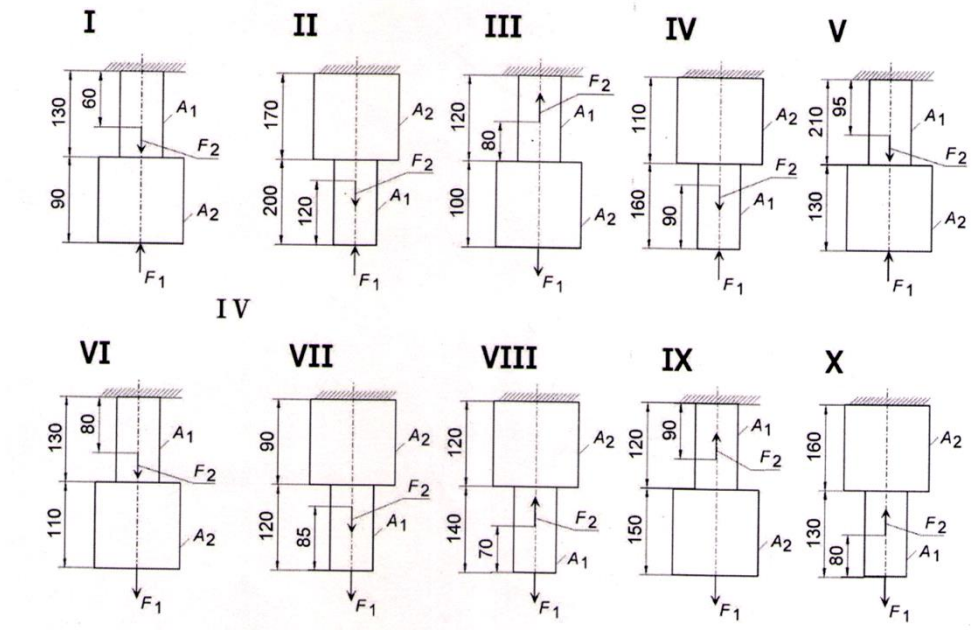


Рис 4.1

Таблица 4.1

Варианты	Схема на рис. 4.1	Варианты	Схема на рис. 4.1
1; 11; 21; 31	I.	6; 16; 26; 36	VI
2; 12; 22; 32	II.	7; 17; 27; 37	VII
3; 13; 23; 33	III.	8; 18;28; 38	VIII

4; 14; 24; 34	IV.	9; 19; 29; 39	IX
5; 15; 25; 35	V.	10; 20; 30; 40	X

Таблица 4.2

Варианты	F_1, кН	F_2, кН	A_1, см^2	A_2, см^2
1 - 10	5,6	9,2	0,4	0,6
11 – 20	1,2	3,6	0,5	1,9
21 – 30	2,4	6,5	1,2	3,2
31 - 40	12	8	0,9	2,4

Номер схемы и параметры смотреть на рис. 4.1 и в таблицах 4.1 и 4.

Пример решения задачи:

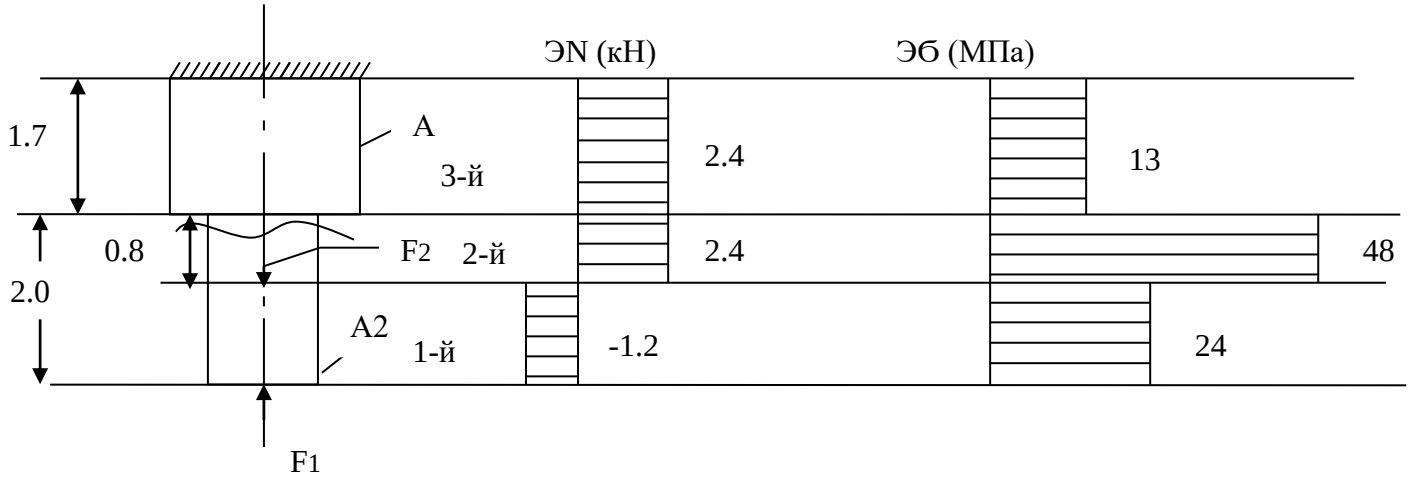


Рис.4.2

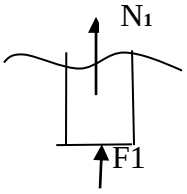
Дано:

F**1**=1.2 кН
F**2**=3.6 кН
A**1**=0.5см²
A**2**=1.9см²

Решение: (1) Определяем продольные силы

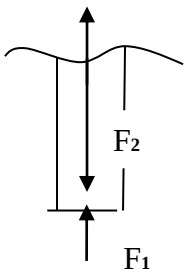
(1) $\sum Fiy=0$;

1-й участок



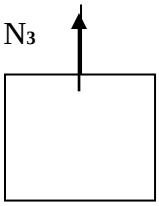
N**1** + F**1** = 0
N**1** = - F**1** = -1.2 кН

2-ой участок



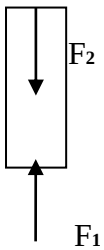
N**2** + F**1** – F**2** = 0
N**2** = F**2** - F**1** = 3.6 – 1.2 = 2.4 kH

3-й участок



N**3** + F**1** - F**2** = 0

N**3** = F**2** – F**1** = 3.6 – 1.2 = 2.4 kH



(2) Определяем напряжения на каждом участке:

(2) $61 = \frac{\mathrm{N1}}{\mathrm{A1}} = \frac{-1{,}2*10^3}{0{,}5*10^2} = -24\ МПа$

$62 = \frac{\mathrm{N2}}{\mathrm{A1}} = \frac{2{,}4*10^3}{0{,}5*10^2} = 48\ МПа$

$63 = \frac{\mathbf{N3}}{\mathbf{A2}} = \frac{2{,}4*10^3}{1{,}9*10^2} = 13$ МПа

(3) Определяем деформацию:

$$\Delta l = \frac{\mathrm{N1}*l1}{\mathrm{E}*\mathrm{A1}} + \frac{\mathbf{N2}*l\mathbf{2}}{\mathrm{E}*\mathbf{A1}} + \frac{\mathbf{N3}*l\mathbf{3}}{\mathrm{E}*\mathbf{A2}} = \frac{1}{2*10^5}\left(-\frac{1.2*10^3*1.2*10^3}{50} + \frac{2.4*10^3*0.8*10^3}{50} + \frac{2.4*10^3*1.7*10^3}{190}\right) == 0.14мм$$

Вывод: Двухступенчатый брус растягивается.
Ответ: $\Delta l = 0.14мм$ – деформация растяжения

Практическая работа № 5

Тема: Кручение
Цель работы: Научиться проводить расчеты валов на прочность при кручении.
Строить эпюры крутящих моментов; определить диаметр вала на каждом участке и полный угол закручивания.
Дано: Для стального вала см. рис 5.1 схемы вариантов с 1-10 Данные для различных вариантов указаны в табл. 5.1.
Мощность на зубчатых колесах принять P_2 = 0,5Р**1;** P_3 = 0,3Р**1**; P_4 = 0,2P**1**.
Указание: Полученное расчетное значение диаметра (в мм) округлить до ближайшего большего числа, оканчивающегося на 0, 2, 5, 8, или по СТС-В 208-75.

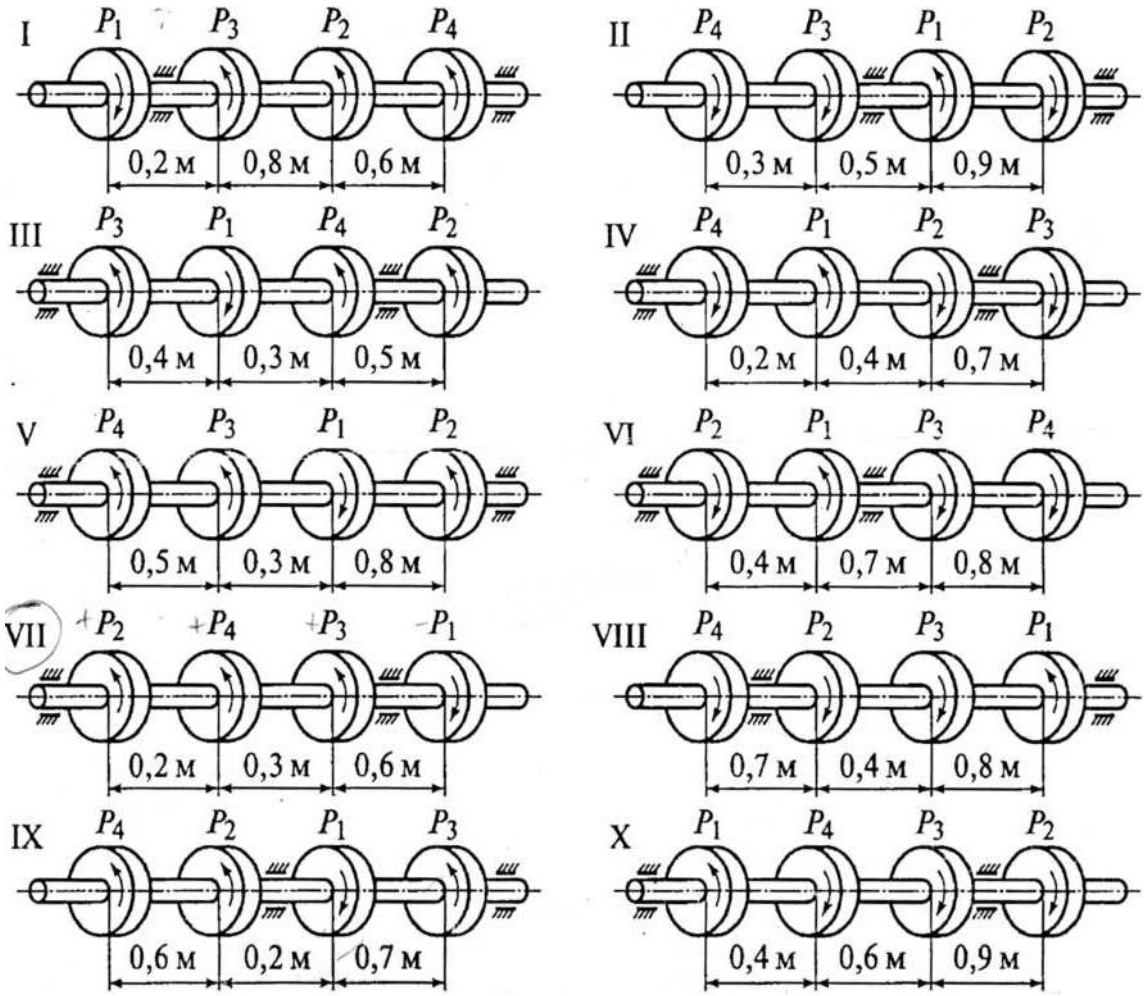


Рис. 5.1

Таблица 5.1

Варианты	Схема на рис. 5.1	ω, рад/с	P1, квт	Варианты	Схема на рис. 5.1	ω, рад/с	P1, квт
1, 11, 21	I	24	12	6, 16, 26	IV	60	30
2, 12, 22	II	48	18	7, 17, 27	VII	36	22
3, 13, 23	III	30	20	8, 18, 38	VIII	50	26
4, 14, 24	IV	40	14	9, 19, 29	IX	28	10
5, 15, 25	V	25	60	10, 20, 30	X	62	16

Методические указания

Кручением называют такой вид нагружения бруса, при котором в его поперечных сечениях возникает только один силовой фактор — крутящий момент $M_{кр}$.

Крутящий момент $M_{кр}$ в произвольном поперечном сечении бруса равен алгебраической сумме моментов, действующих на отсеченную часть бруса.

Крутящий момент считается положительным по часовой стрелке и отрицательным — против часовой стрелки.

При расчетах валов на прочность используется условие прочности:

$\tau_{кр} = M_{кр}/W_p \le [\tau_{кр}]$, где W_p - полярный момент сопротивления сечения, $[\tau_{кр}]$ – допускаемое

касательное напряжение

Пример решения задачи

Для стального вала (рис. 5.2*)* построить эпюру крутящих моментов, определить из условия прочности требуемые диаметры каждого участка $(d1, d2, d3)$ и углы закручивания φ_1, φ_2, φ_3 этих участков.

Дано:

ω = 100 рад/с, угловая скорость вала;

$[\tau_{кр}]$ = 30 МПа, допускаемое касательное напряжение;

$G = 0{,}8 \cdot 10^5$ МПа, модуль сдвига

Определить: $d1-?, d2-?, d3-?$; φ_1-?, φ_2-?, φ_3-?

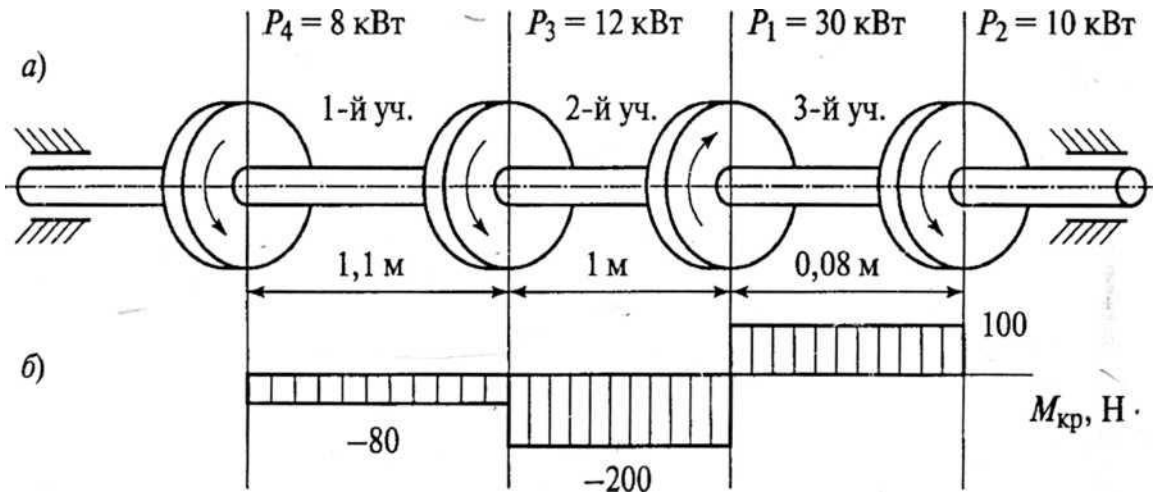


Рис. 5.2

Решение: 1. Вал вращается с постоянной угловой скоростью, следовательно, система вращающих моментов уравновешена. Мощность, подводимая к валу без потерь на трение, равна сумме мощностей, снимаемых с вала:

$$P1 = P2 + P3 + P4 = 10 + 12 + 8 = 30 \text{ квт};$$

2. Определяем вращающие моменты на шкивах:

$$M1 = P1/\omega = \frac{30 \cdot 1000}{100} = 300 \text{ Н} \cdot м;$$

$$M2 = P2/\omega = \frac{10 \cdot 1000}{100} = 100 \text{ Н} \cdot м;$$

$$M3 = P3/\omega = \frac{12 \cdot 1000}{100} = 120 \text{ Н} \cdot м;$$

$$M4 = P4/\omega = \frac{8 \cdot 1000}{100} = 80 \text{ Н} \cdot м;$$

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

$$M_{кр1} = -M4 = -80 \text{ Н} \cdot м;$$

$$M_{кр2} = -M4 - M3 = -80 - 120 = -200 \text{ Н} \cdot м;$$

$$M_{кр3} = -M4 - M3 + M1 = -80 - 120 + 300 = 100 \text{ Н} \cdot м;$$

По найденным значениям строим эпюру крутящих моментов.

4. Из условия прочности на кручение:

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

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

Определяем диаметры вала на каждом участке по формуле:

$$d1 \geq \sqrt[3]{\frac{M_{кр1}}{0{,}2\,[\tau_{кр}]}} = \sqrt[3]{\frac{80 \cdot 10^3}{0{,}2 \cdot 30}} = 25 \text{ мм},$$

$$d2 \geq \sqrt[3]{\frac{M_{кр2}}{0{,}2\,[\tau_{кр}]}} = \sqrt[3]{\frac{200 \cdot 10^3}{0{,}2 \cdot 30}} = 35 \text{ мм},$$

$$d3 \geq \sqrt[3]{\frac{M_{кр3}}{0{,}2\,[\tau_{кр}]}} = \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 10^3}{0{,}2\ 30}} = 28 \text{ мм},$$

5. Определяем угол закручивания вала на каждом участке по формулам:

$$\varphi = \frac{M_{кр} \cdot l \cdot 180^\circ}{Jp \cdot G \cdot \pi}, \text{ где } Jp - \text{полярный момент инерции сечения.}$$

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

Угол закручивания

$$\varphi 1 = \frac{M_{кр1} \cdot l1 \cdot 180^\circ}{Jp \cdot G \cdot \pi} = \frac{-80 \cdot 10^3 1{,}1 \cdot 10^3 \cdot 180^\circ}{0{,}1 \cdot d1^4 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot 3.14} = -\ 0.16^\circ;$$

$\varphi 2 = \frac{\text{М кр2}\cdot l2\cdot 180^\circ}{Jp\cdot G\cdot \pi} = \frac{-200\cdot 1\cdot 10^3\cdot 1\cdot 10^3\cdot 180^\circ}{0{,}1\cdot d2^4\cdot 8\cdot 10^4\cdot 3.14} = -0{,}38^\circ;$

$\varphi 3 = \frac{\text{М кр3}\cdot l3\cdot 180^\circ}{Jp\cdot G\cdot \pi} = \frac{100\cdot l1\cdot 180^\circ}{0{,}1\cdot d3^4\cdot 8\cdot 10^4\cdot 3.14} = 0{,}29^\circ.$

Ответ: $d1 = 25$ *мм*; $d2 = 35$ *мм*; $d3 = 28$ *мм* ; φ1= - 0.16°; φ2= - 0.38°; φ3= 0.29°.

Практическая работа № 6

Тема: Изгиб

Цель работы: Научиться строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, выполнять проектный расчёт балки на изгиб.

Дано: Для заданной двухопорной балки (рис. 6.1) определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Подобрать из условия прочности на изгиб размеры поперечного сечения прямоугольника или круга, приняв для прямоугольника h = 2b. Считать [σи] = 150 МПа.

Данные для различных вариантов указаны в табл. 6.1

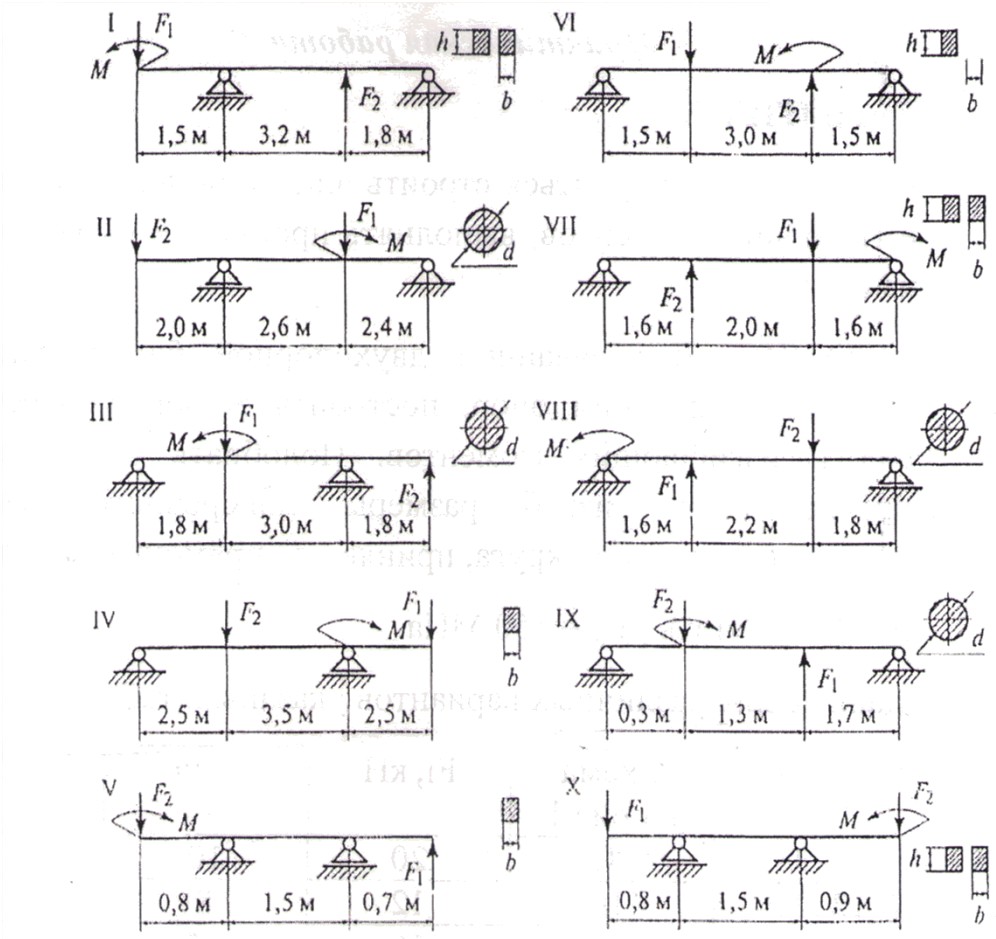


Рис. 6.1

Таблица 6.1

Варианты	Схема на рис.1	F1, кН	F2, кН	М, кН· м
1, 11, 21	I	20	10	12
2, 12 ,22	II	12	8	20
3, 13, 23	III	10	15	30
4, 14, 24	IV	30	20	40
5, 15, 25	V	18	22	35

6, 16, 26	VI	16	24	45
7, 17, 27	VII	15	10	8
8, 18, 28	VIII	6	14	6
9, 19, 29	IX	4	10	12
10, 20,30	X	5	8	3

Методические указания

Изгиб — это такой вид нагружения балки, при котором в поперечных сечениях возникают изгибающие моменты. В большинстве случаев одновременно с изгибающими моментами возникают и поперечные силы; такой изгиб называют поперечным. Если поперечные силы не возникают, изгиб называют чистым.

Изгибающий момент в произвольном сечении равен алгебраической сумме моментов внешних сил, действующих на отсеченную часть балки:

$$M_u = \sum M_o(Fi).$$

Поперечная сила Q равна алгебраической сумме проекций внешних сил, действующих на отсеченную часть балки:

$$Q = \sum F_{iy}$$

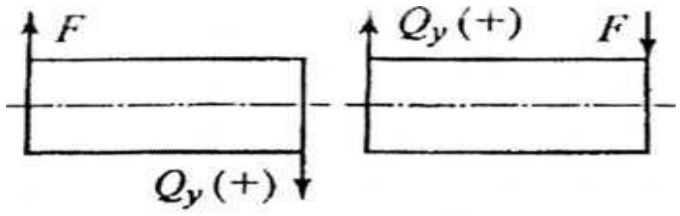


Рис. 6.2

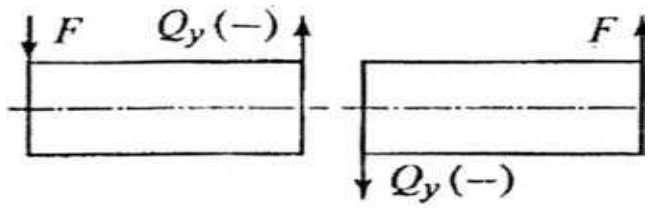


Рис. 6.3

Правила знаков для поперечных сил:

Поперечная сила считается п о л о ж и т е л ь н о й , если внешние силы поднимают левый конец балки или опускают правый конец (рис. 6.2), и о т р и ц а т е л ь н о й , если внешние силы опускают левый конец балки или поднимают правый конец (рис. 6.3).

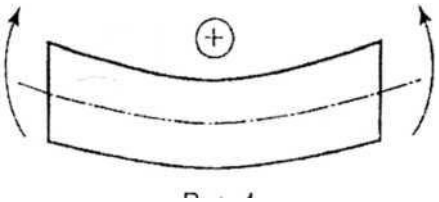


Рис. 6.4

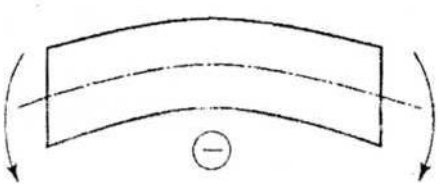


Рис. 6.5

Правило знаков для изгибающих моментов:

*И*згибающий момент считается положительным, если внешние силы, действующие на левый конец балки, поворачивают его по часовой стрелке, а действующие на правый — против часовой стрелки (рис. 6.4). и отрицательным, если внешние силы поворачивают левый конец балки против часовой стрелки, а правый — по часовой (рис. 6. 5).

Для балок, имеющих много участков нагружения, эпюры изгибающих моментов $M_и$ строятся по характерным точкам, т. е. точкам, в которых приложены внешние силы и моменты.

Для определения опорных реакций балки используют уравнение равновесия:

$$\sum F_{ix} = 0$$
$$\sum F_{iy} = 0$$
$$\sum M_o = 0$$

Пример решения задачи.

Для заданной двухопорной балки (рис. 6.6*)* определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, определить размеры поперечного сечения (*h, b, d)* в форме прямоугольника и круга, приняв для прямоугольника *h/b* = 1,5. Считать $[\sigma_и]$ = 160 МПа.

Дано: F_1 = 18 кН, F_2 = 30 кН, M_1 = 20 кН•м, M_2 =10 кН•м.

Решение. 1. Строим расчетно-графическую схему (рис. 6,6*)*.

2. Определяем опорные реакции балки R_{Bx}, R_{By}, R_{Dy} и проверяем правильность их найденных значений.

Опорные реакции балки

R_{Bx}=0, R_{By} = 10 кН, R_D = 22 кН.

Проверка $\sum F_{iy}=0$

$$-F_1 + R_{By} + F_2 - R_D = 0$$
$$-18 + 10 + 30 - 22 = 0$$
$$-40 + 40 = 0.$$

Условие равновесия статики выполняется, следовательно, реакции опор балки найдены правильно:

R_{Bx} = 0, R_{By} = 10 кН, R_D = 22 кН.

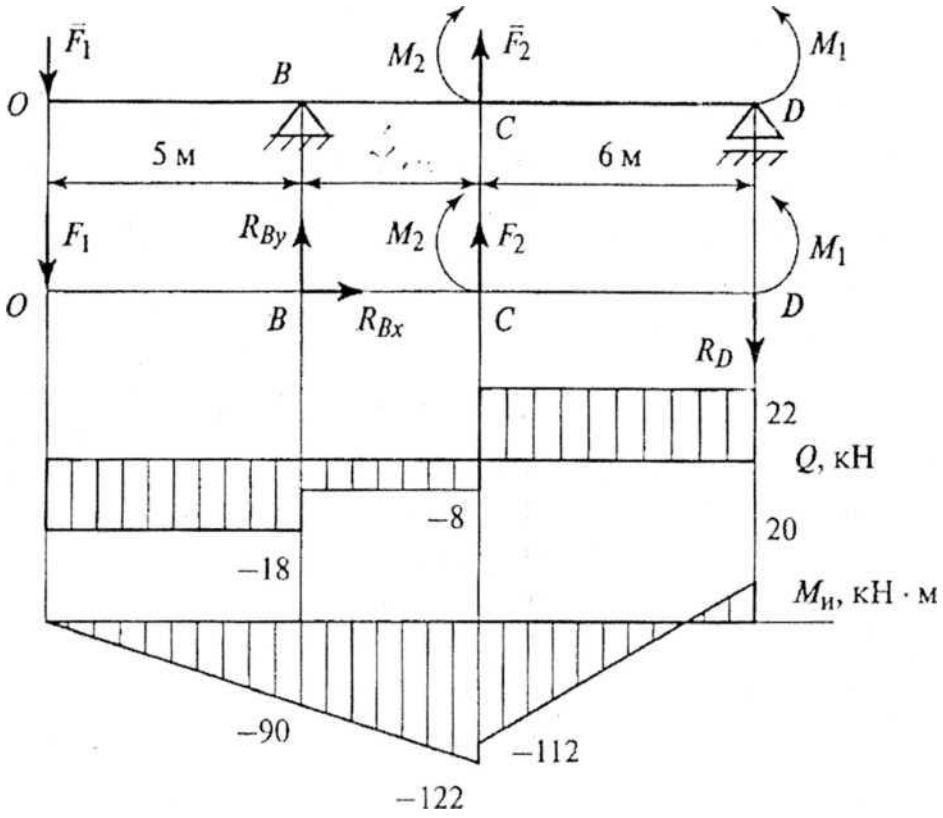


Рис. 6.6

3.Определяем поперечные силы *Q* в характерных точках: О, *B, C, D* и строим эпюру слева направо (рис. 6.6*):*

$Q_O = -F_1 = -18$ кН,

$Q_{B\ слева} = -F_1 = -18$ кН,

$Q_{B\ справа} = -F_1 + R_{By} = -18 + 10 = -8$ кН,

$Q_{C\ слева} = -F_1 + R_{By} = -18 + 10 = -8$ кН,

$Q_{C\ справа} = -F_1 + R_{By} + F_2 = -18 + 10 + 30 = 22$ кН,

$Q_{D\ слева} = -F_1 + R_{By} + F_2 = -18 + 10 + 30 = 22$ кН.

4.Вычисляем изгибающие моменты в тех же характерных точках *O, B,* C, *D* и строим их эпюру (рис. 6, *г):*

$M_{u\,O} = 0$,

$M_{u\,B} = -F_1 \cdot OB = -18 \cdot 5 = -90$ кН • м,

$M_{и\,C\ слева} = -F_1 \cdot OC + R_{By} \cdot BC = -18 \cdot 9 + 10 \cdot 4 = -122$ кН • м,

$M_{и\,C\ справа} = -F_1 \cdot OC + R_{By} \cdot BC + M_2 = -18 \cdot 9 + 10 \cdot 4 + 10 = -112$ кН • м,

$M_{и\,D} = -F_1 \cdot OD + R_{By} \cdot BC + M_2 + F_2 \cdot CD = -18 \cdot 15 + 10 \cdot 10 + 10 + 30 \cdot 6 = 20$ кН • м.

5.Вычисляем размеры сечения данной балки по двум вариантам:
а) сечение — прямоугольник с заданным соотношением сторон;
б) сечение — круг.

а) Вычисляем размеры прямоугольного сечения из условия прочности на изгиб
Максимальный изгибающий момент берется в точке Сслева $M_{и\,max}$ = 122 кН • м.
Осевой момент для прямоугольного сечения:

$$W_x = bh^2 / 6 = b(1{,}5b)^2/6 = 2{,}25b^3/6$$

так как h/b = 1,5, то h = 1,5b

Тогда

$$\sigma_и = \frac{M_{и\,max} \cdot 6}{2{,}25b^3} \le [\sigma_и].$$

Отсюда

$$b \ge \sqrt[3]{\frac{6M_{и\,max}}{2{,}25[\sigma_и]}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 122 \cdot 10^6}{2{,}25 \cdot 160}} = 127 \text{ мм}.$$

Так как b = 127 мм, то

h = 1,5 b = 1,5 • 127 = 190,5 мм.

б) Вычисляем размер круглого сечения из условия прочности на изгиб
Так как для круга $W_x = \pi d^3 / 32 = 0{,}1\ d^3$, то

$$\sigma_и = \frac{M_{и\,max}}{0{,}1d^3} \le [\sigma_и].$$

Отсюда находим диаметр сечения

$$d \ge \sqrt[3]{\frac{M_{и\,max}}{0{,}1[\sigma_и]}} = \sqrt[3]{\frac{122 \cdot 10^6}{0{,}1 \cdot 160}} = 195 \text{ мм}.$$

(1 кН•м = 10^6 Н•мм).

Ответ b = 127 мм; h = 190,5 мм; d = 195 мм.

Литература

1. «Техническая механика» В. А. Ивченко; Москва 2015 г.;
2. «Техническая механика» В. П. Олофинская; Москва 2016 г.,
3. «Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов». М.: Высшая школа 2016 г. Аркуша А. И.
4. «Техническая механика» Основы технической механики» М. С. Мовнин, А. Б. Израелит, А. Г. Рубашкин. Ленинград Машиностроение» 2015 г.
5. «Руководство по решению задач по теоретической механике»

а. М.: Высшая школа 2016 г. Аркуша А. И.

6. «Сборник задач по теоретической механике» М.: Высшая школа 2017 г. Аркуша А. И.
7. В. А. Ивченко «Техническая механика» учебно-методический комплекс Москва 2017 г.