Областное государственное бюджетное образовательное учреждение
Среднего профессионального образования
**« Смоленский автотранспортный колледж
им. Е.Г. Трубицына»**

Методические указания по выполнению лабораторно-практических работ по дисциплине «Техническая механика»

Смоленск,2015г.

Одобрена предметной (цикловой) комиссией общетехнических дисциплин

Протокол № 1
от «03» 09 2014 г.

Председатель ____________
Ж.В. Лепешкова

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УВР

____________ М.К. Ященко

«08» 09 20 14 г.

Составитель: Сенчило Н.Ф.- преподаватель технической механики ФГОУ СПО «Смоленский автотранспортный колледж имени Е.Г. Трубицына».

Практическая работа №1

«Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил»

Цель работы: «Определить равнодействующую силу для заданной плоской системы сходящихся сил».

Методическое обеспечение: карточка-задания, микрокалькулятор, учебная литература, методическое описание.

Теоретическое обоснование

Плоской системой сходящихся сил называется совокупность всех сил, линии действия которых лежат в одной плоскости и сходятся в одной точке. Эту систему сил можно заменить одной силой – равнодействующей, которая оказывает на тело такое же механическое действие, как и система сил.

Найти величину равнодействующей силы можно по формуле:

$$F_{\Sigma} = \sqrt{\left(\sum F_{ix}\right)^2 + \sum \left(F_{iy}\right)^2},$$

где $\sum F_{ix}$ - алгебраическая сумма проекций всех сил на ось «Х»,

$\sum \left(F_{iy}\right)$ - алгебраическая сумма проекций всех сил на ось «У».

направление действия равнодействующей найдем по формуле:

$$\alpha = arctg = \frac{\sum F_{iy}}{\sum F_{ix}},$$

где угол α – угол между положительным направлением оси «Х» и вектором равнодействующей силы.

Точка приложения равнодействующей – точка, где сходятся все заданные силы.

Ход работы

1) Записать исходные данные.
2) Нарисовать схему, приложить все силы к одной точке (выбрать масштаб сил).
3) Провести оси координат.
4) Спроектировать все заданные силы на ось «Х» и записать их алгебраическую сумму.
5) Спроектировать все заданные силы на ось «У» и записать их алгебраическую сумму.
6) Определить величину равнодействующей силы по формуле

$$F_{\Sigma} = \sqrt{\left(\sum F_{ix}\right)^2 + \sum \left(F_{iy}\right)^2}$$

7) Определить направление равнодействующей силы по формуле

$$\alpha = arctg = \frac{\sum F_{iy}}{\sum F_{ix}}$$

8) Приложить равнодействующую силу к системе сил (см. п.2) в том же самом масштабе сил.
9) Проверить правильность решения задачи, для этого надо построить силовой многоугольник.

Если силовой многоугольник получим замкнутым, то задача решена верно.

10) Записать ответ.

Пример:

1) Исходные данные:

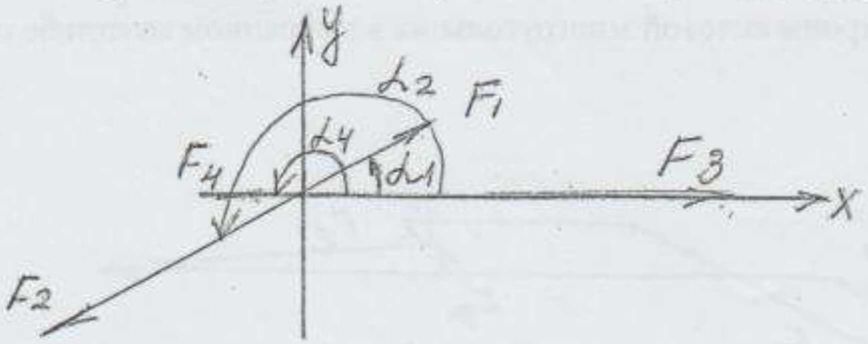
F_1=20 кН, α_1=30°

F_2=40 кН, α_1=210°

F_3=60 кН, α_3=0°

F_4=100 кН α_1=180°

2) Выберем масштаб сил и приложим все заданные силы к т.о.



3) Проведем ось «У»

4) Найдем проекцию равнодействующей на ось «Х». Спроектируем все силы на ось «Ч» и запишем их алгебраическую сумму

$F_{\Sigma x} = \sum F_{ix}$

$F_{\Sigma x} = F_1 \cdot \cos\alpha_1 + F_3 - F_4 - F_2 \cdot \cos\beta_2$

$F_{\Sigma x} = 20 \cdot \cos 30° + 60 - 100 - 40 \cdot \cos 30° = -57{,}32\,кН$

5) Найдем проекцию равнодействующей силы. Спроектируем все силы на ось «У» и запишем их алгебраическую сумму

$F_{\Sigma y} = F_{iy}$

$F_{iy} = F_1 \cdot \sin\alpha_1 - F_2 \cdot \sin\beta_2$

$F_{\Sigma y} = 20 \cdot \sin 30° - 40 \cdot \sin 30° = -10\,кН$

6) Найдем величину равнодействующей силы

$F_\Sigma = \sqrt{F_{\Sigma x}{}^2 + F_{\Sigma y}{}^2} = \sqrt{(-57{,}32)^2 + (-10)} = 58{,}18\,кН$

7) Найдем направление действия равнодействующей силы

$\alpha = arctg\dfrac{F_{\Sigma y}}{F_{\Sigma x}} = arctg\dfrac{-10}{-57{,}32} = arctg\,0{,}1744 = 9°54'$

8) Приложим равнодействующую силу к т.о. на указанной схеме системы сходящихся сил.

9) Проверим правильность решения задачи графическим способом. Строим силовой многоугольник в выбранном масштабе сил.

10) Вывод: Силовой многоугольник получился замкнутым, значит равнодействующая сила найдена верно.

Ответ: $F_\Sigma = 58{,}18$ $кН$ $\alpha = 9°54'$

Литература

1. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий - М.: Инфра-М; Форум, 2011. 352 с.
2. Мовнин М.С., Основы технической механики - СПб; Политехника, 2011. 286 с.
3. Эрдеди А.А. Эрдеди Н.А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов.- Р-н-Д; Феникс, 2010. 320 с.

Контрольные вопросы

1.Как определить проекцию силы на ось Ох

2. Как определить проекцию силы на ось Оy

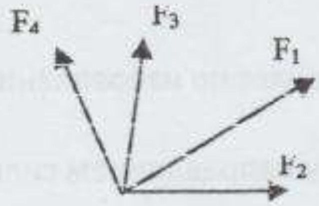
3. Чему равны проекция силы на ось, если сила совпадает по направлению с осью

4. Чему равна проекция силы на ось, если угол между направлением силы и направления оси 90°

5. Сформулируйте геометрическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил

6. Записать выражение для расчета равнодействующей плоской системы сходящихся сил.

Варианты заданий.



№ п/п	F_1, Н	F_2, Н	F_3, Н	F_4, Н	α_1, град	α_2, град	α_3, град	α_4, град
1.	40	30	20	60	0	30	90	120
2.	60	80	100	120	30	60	90	150
3.	80	40	60	100	45	90	0	180
4.	30	60	90	120	30	90	150	180
5.	40	120	80	60	150	210	0	90
6.	20	10	30	40	180	270	-30	0
7.	40	80	80	120	0	270	-60	90
8.	50	100	50	100	0	45	225	90
9.	60	60	120	120	30	210	90	270
10.	20	20	40	40	0	180	90	270
11.	30	60	60	30	30	210	-30	150
12.	20	40	20	40	0	30	90	180
13.	10	15	10	20	30	0	90	270
14.	20	50	70	30	45	30	-270	180
15.	15	40	50	15	180	45	-270	-30
16.	20	50	10	50	45	-210	-30	270
17.	40	70	30	50	45	180	-60	30
18.	30	20	10	60	-45	-180	0	60
19.	80	50	60	20	30	-30	-270	45
20.	70	30	10	40	270	-45	-180	90
21.	40	25	30	30	210	0	150	60
22.	70	20	40	40	180	-30	210	60
23.	20	30	10	30	-270	180	-45	45
24.	20	10	120	50	30	-180	60	150
25	80	30	30	20	45	180	-270	-60
26.	25	50	40	120	45	180	-30	-90
27.	70	25	70	50	60	-30	0	-270
28.	120	40	20	60	-60	150	-180	30
29	50	25	10	40	270	45	-60	30
30.	30	10	30	20	30	90	45	180
31.	120	50	20	60	-90	45	180	0
32.	20	40	50	20	30	180	-45	270
33.	50	70	30	25	210	0	30	-60
34.	10	30	70	30	270	30	45	90
35.	20	40	40	10	0	45	-60	-150

Практическая работа №2

«Определение реакций опор для плоской системы производительно расположенных сил».

Цель работы: «Изучить методику расчета реакций опор плоской системы произвольно расположенных сил. Выполнить расчет по карточке - задания».

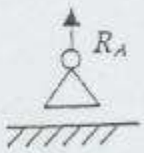
Методическое обеспечение: карточка – задания, микрокалькулятор, учебная литература.

Теоретическое обоснование:

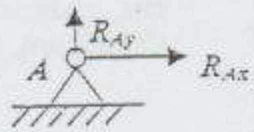
Тела удлиненной формы, предназначенные для восприятия поперечных нагрузок называют балками. Балки имеют специальные опорные устройства для сопряжения их с другими элементами и передачи на них усилий.

Применяют следующие виды опор (с указанием реакций):

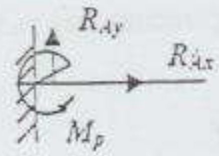
а) *шарнирно – подвижная опора*



б) *шарнирно – неподвижная опора*



в) *жесткая заделка*



Ход работы:

1) вычертить схему нагружения балки вместе с опорами. Если имеется распределенная нагрузка, то ее следует заменить сосредоточенной силой:

$Q = q \cdot \ell$, где q – интенсивность распределенной нагрузки,
ℓ – длина действия распределенной нагрузки.

Сосредоточенную силу «Q» прикладываем на середине длины «ℓ»;

2) освободиться от связей, а их действие на балку заменить реакциями;
3) провести оси координат «x» и «y»;
4) записать уравнения равновесия для плоской системы произвольно расположенных сил.

$$\begin{cases} \Sigma F_{ix} = 0, \\ \Sigma F_{iy} = 0, \\ \Sigma M_o(\overline{F}_i) = 0. \end{cases}$$

или упрощенно

$$\begin{cases} \Sigma X = 0, \\ \Sigma Y = 0, \\ \Sigma M_o = 0. \end{cases}$$

Можно составить уравнения еще

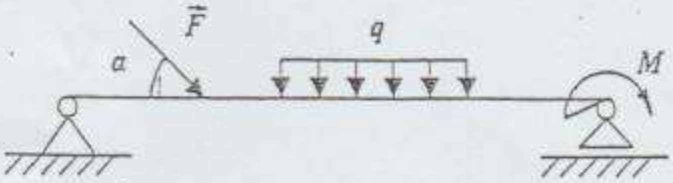
$$\begin{cases} \Sigma X = 0, \\ \Sigma M_A = 0, \\ \Sigma M_B = 0. \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} \Sigma M_A = 0, \\ \Sigma M_B = 0, \\ \Sigma M_C = 0. \end{cases}$$

5) решить уравнения, найти неизвестные реактивные силы;
6) выполнить проверку правильности решения задачи. Составить уравнение равновесия, которое не использовали при решении. Если получим равенство $0 = 0$, то задача решена верно.
7) Записать ответ.

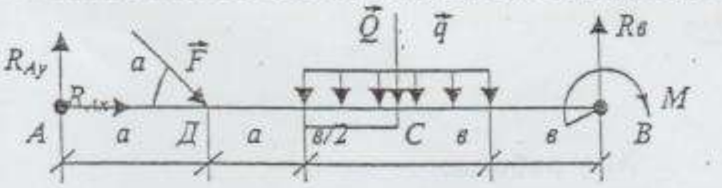
Контрольные вопросы:

1) Как направлена реакция в шарнирно – неподвижной, шарнирно – подвижной опорах, жесткой заделке.
2) Чему равна проекция силы на ось?
3) Чему равен момент силы относительно точки?
4) ~~Чему равен момент силы относительно точки, если точка лежит на линии действия сил.~~
5) Уравнения равновесия плоской системы произвольно расположенных сил.

опору под действием заданных сил находится в равновесии. Определить реакции опор.



1) Освобождаемся от связей, а их действие заменяем реактивными силами.



2) Заменим распределенную нагрузку интенсивностью $\vec{q}$ сосредоточенной силой $\vec{Q}$, приложим ее в точке «C». $Q = q \cdot в$
3) Составим уравнения равновесия:
   1) $\sum X = 0;$ $R_{Ax} + F \cdot \cos a = 0.$
   2) $\sum M_A = 0;$ $F \cdot a \sin a + Q\,(2a + в/2) - R_в\,(2a + 2в) + M = 0.$
   3) $\sum M_B = 0;$ $R_{Ay}(2a + 2в) - F(a + 2в)\sin a - Q(в + в/2) + M = 0.$
4) Решаем систему уравнений, находим неизвестные реактивные силы R_{Ay}, R_{Ax}, R_B
5) Проверяем правильность решения задачи. Составим уравнение равновесия $\sum Y = 0$.

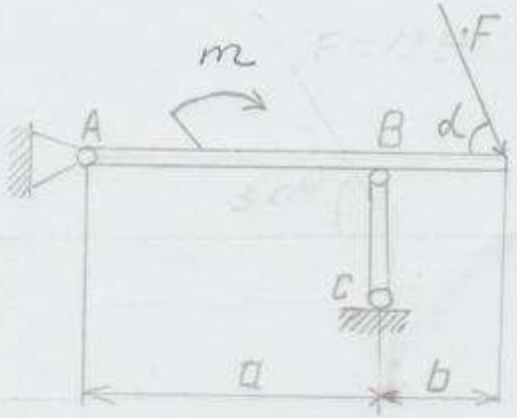
$$R_{Ay} - F \cdot \sin a - Q + R_B = 0;$$

Подставим значения.

Если $0 = 0;$ *то решение верно.*

Ответ: $R_{Ax} =$, $R_{Ay} =$, $R_B =$

Варианты заданий



№ варианта	F, кН	m, кН·м	a, м	b, м	α°
1	4	3	1	2	30
2	5	2	2	3	60
3	3	4	2	1	45
4	7	2	3	4	60
5	5	2	1	4	60
6	8	3	1	5	30
7	10	5	2	3	30
8	6	4	3	2	45
9	9	3	4	1	45
10	5	3	1	2	60
11	4	5	2	4	30
12	7	2	4	5	45
13	6	4	4	3	60
14	9	4	3	2	30
15	10	3	2	1	45
16	12	2	1	3	30
17	11	3	1	4	60
18	8	5	3	3	60
19	7	4	2	2	30
20	6	2	2	1	45
21	4	3	4	2	45
22	3	1	3	3	60
23	13	2	2	4	30
24	14	4	1	5	30
25	10	3	2	2	60
26	9	2	3	3	45
27	8	3	2	2	30

Литература

1. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий - М.: Инфра-М; Форум, 2011. 352 с.
2. Мовнин М.С., Основы технической механики - СПб; Политехника, 2011. 286 с.
3. Эрдеди А.А. Эрдеди Н.А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов.- Р-н-Д; Феникс, 2010. 320 с.

«Расчеты на прочность при растяжении, сжатии».

Цель работы: Изучить методику расчета на прочность при растяжении, сжатии. Построить эпюру продольных сил и выполнить расчет на прочность.

Методическое обеспечение: карточка – задания, микрокалькулятор. описание работы.

Теоретическое обозначение:

Прочность стержня при растяжении, сжатии обеспечена, если для каждого поперечного сечения наибольшее расчетное напряжение σ не превосходит допускаемого напряжения $[\sigma]$.

$$\sigma = N/A \leq [\sigma]$$

С помощью этой формулы можно решать три вида задач.

1) **Проверка прочности.**

   Определяется расчетное напряжение, которое сравнивается с допускаемым напряжением.

   Превышение расчетного напряжения по сравнению с допускаемым не должно быть более 5 %

$$((\sigma - [\sigma]) / [\sigma]) \cdot 100\,\% \leq 5\,\%$$

В случае, когда рабочее напряжение много ниже допускаемого, конструкция считается неэкономичной, необоснованный расход материала. Недогрузка допускается 10 % ÷ 15 %.

$$((\sigma - [\sigma]) / [\sigma]) \cdot 100\,\% \leq -10 \div (-15\,\%).$$

2) **Подбор сечения.**

   Из условия прочности определяют площадь поперечного сечения

$$A \geq N / [\sigma].$$

Зная форму поперечного сечения (круг, кольцо, квадрат, прямоугольник и т.д.), определяют размер поперечного сечения (диаметр, сторону квадрата, стороны прямоугольника и т.д.).

3) **Определение допускаемой продольной силы** $[N]$.

$$[N] = [\sigma] \cdot A.$$

Ход работы:

1. Записать исходные данные.
2. Применяя метод сечений, определить продольную силу N и построить эпюру продольных сил.
3. Определить наиболее нагруженный участок и для него найти нормальное напряжение.
4. Выполнить расчет на прочность.

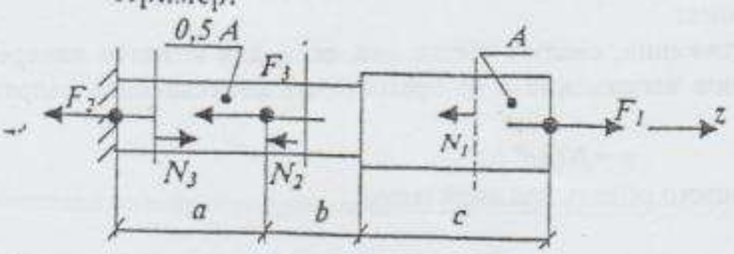
Учебная литература:

М.С.Мовнин, А.Б.Израелит, А.Г.Рубашкин «Основы технической механики», Ленинградское отд., «Машиностроение», 1982 г.

Контрольные вопросы:

1. Условие прочности при растяжении (сжатии).
2. Три вида задач, вытекающих из условия прочности.
3. Как найти опасное напряжение?

Пример:



Дано: *стержень находится в равновесии*

$F_2 = F$

$F_3 = 2F$

$F_1 = 3F$

$A = 3\ см^2$

$[\sigma] = 160\ МПа$

Определить: F.

Решение.

1) Строим эпюру продольных сил, применяя метод сечений.
Разбиваем стержень на участки (*a, b, c*, проводим ось *z*).

$-N_1 + F_1 = 0; \quad -N_1 + 3F = 0; \quad N_1 = 3F$

$-N_2 + F_1 = 0; \quad -N_2 + 3F = 0; \quad N_2 = 3F$

$N_3 - F_2 = 0; \quad N_3 = N_2 = F$

2) Определяем допускаемую силу *N*.

$[N] = [\sigma] \cdot A;$

$[N] = 160 \cdot 300 = 48000\ Н = 48\ кН,$

где $A = 3\ см^2 = 300\ мм^2.$

3) Определим силу *F*.

$F = N/3 = 48/3 = 16\ кН.$

для участка «с».

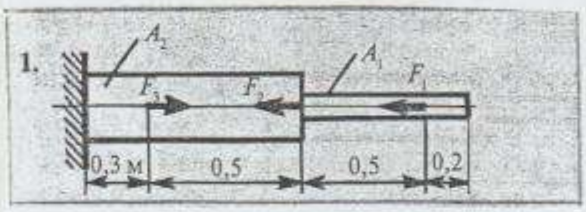
Варианты заданий

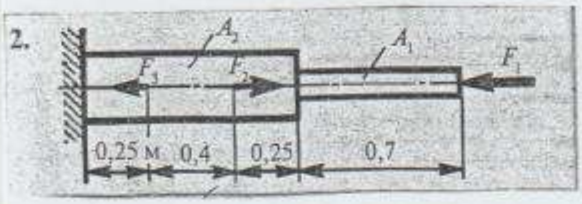
Двухступенчатый стальной брус, длины ступеней которого указаны на рисунке, нагружен силами *F1, F2, F3*. построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений на длине бруса.

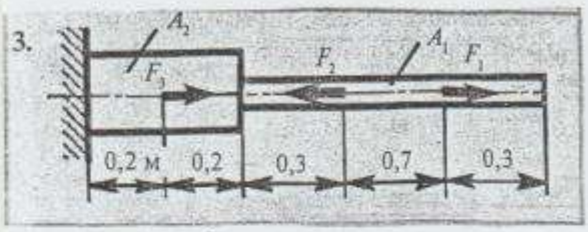
Определить перемещение свободного конца бруса, приняв *E=2*10^5 МПа*. Данные для каждой схемы приведены в таблице 1.

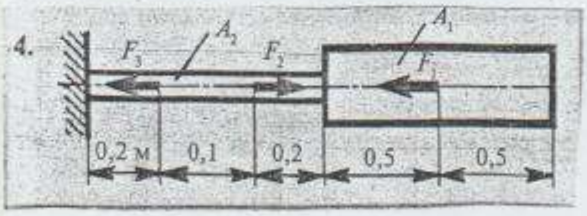
Таблица 1

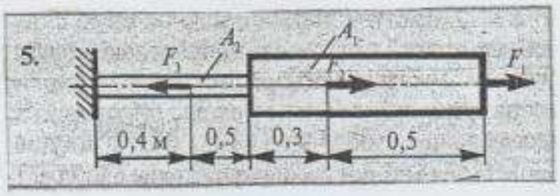
Номер схемы	Силы, *кН*			Площади, *см^2*	
	F1	*F2*	*F3*	*A1*	*A2*
1	30	10	5	1,8	3,2
2	12	5	3	1,0	1,5
3	15	24	29	1,3	3,9
4	24	10	3,5	2,0	1,7
5	17	19	13	2,4	2,1
6	26	20	10	4,6	2,4
7	17	13	8	2,0	2,5
8	8	11	15	0,7	0,5
9	40	55	24	2,8	3,4
10	29	2,0	54	1,9	1,4

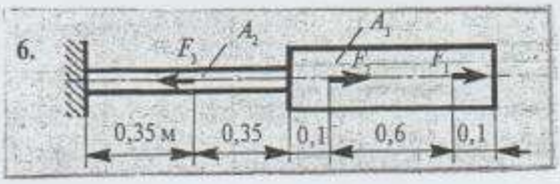


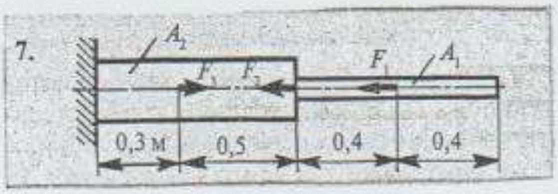


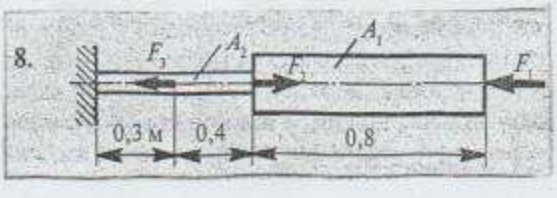




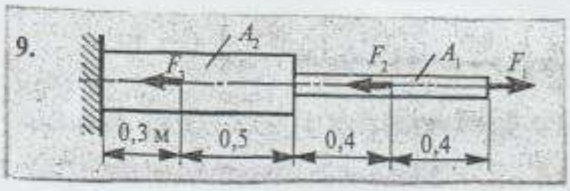




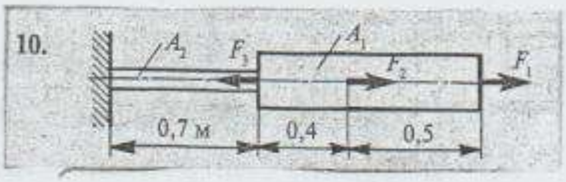




9.



10.



Практическая работа №4

«Расчет при изгибе».

Цель работы: Изучить методику расчета при прямом поперечном изгибе.

Методическое обеспечение: карточка – задания, справочники, литература, микрокалькулятор.

Теоретическое обоснование:

При изгибе ось стержня искривляется, поперечные сечения поворачиваются. Волокна стержня с выпуклой стороны удлиняются, а с вогнутой – укорачиваются.

Слой, длина которого остается неизменной, называется нейтральным. Линия пересечения этого слоя с поперечным сечением называется нейтральной осью.

Нейтральная ось проходит через центр тяжести поперечного сечения. Изгиб возникает при действии на стержень уравновешенной системы внешних сил, перпендикулярных его оси, или пар сил, плоскости которых проходят через ось. Стержень, находящийся в таких условиях, называется балкой.

Прямой плоский изгиб имеет место при совпадении силовой плоскости с одной из главных плоскостей инерции. Изгиб называется чистым, если в поперечных сечениях балки возникает только изгибающий момент, а поперечная сила равна нулю.

Поперечной силой Qy или Qx называется алгебраическая сумма проекций на главную центральную ось инерции поперечного сечения X или Y внутренних сил, действующих в сечении по одну сторону сечения.

Поперечная сила считается положительной, если внешняя сила стремится повернуть отсеченную часть балки по часовой стрелке.

Изгибающим моментом Mx или My называется алгебраическая сумма моментов относительно оси Y или X всех внешних сил и моментов, расположенных по одну сторону сечения.

Изгибающий момент принято считать положительным, если внешняя нагрузка изгибает балку выпуклостью вниз (т.е. сжаты верхние волокна балки).

При изгибе возникают нормальные и касательные направления.

Ввиду малости касательных напряжений, обычно ведут расчет только по нормальным напряжениям, которые определяются по формуле:

$$\sigma_u = (M_u / J_x) \cdot y; \qquad \sigma_u = (M_u / J_y) \cdot x.$$

где M_u – изгибающие моменты;

J_x – осевые моменты инерции;

y, x – расстояние от нейтральной оси до точки, в которой определяется направление.

Наибольшие нормальные напряжения в сечении возникают в точках, наиболее удаленных от нейтральной оси.

В зависимости от формы сечения могут быть два случая:

а) нейтральная ось, проходящая через центр тяжести, не лежит в середине высоты сечения. Расчет ведется отдельно для сжатых и растянутых волокон.

Это, как правило, бывает часто для чугунных балок, где рациональнее использовать сечение несимметричное.

б) центр тяжести расположен в середине высоты сечения. Такие сечения рациональны для стальных балок.

Условие прочности при изгибе имеет вид: $\sigma_u = M_u / W_x$.

Как и при других видах деформации, при изгибе существует три вида расчетов: проверочный, проектный и определение допускаемой нагрузки.

1. Проверочный расчет заключается: в определении максимального напряжения

$$\sigma_{max} = M_{u \cdot max} / W_x;$$

где M_x – берем из эпюры M_x.

2. Проектный расчет.

Подбор сечения производится по максимальному изгибающему моменту путем вычисления изгибающему моменту путем вычисления необходимого момента сопротивления.

1) строим эпюру M_x и находим M_x
2) в опасном сечении приравниваем напряжение допускаемому
3) в зависимости от формы сечения находим размеры сечения:
   а) *круглое сплошное* $W_x = \pi d^3/32 \approx 0{,}1d^3$
   б) *круглое полое* $W_x = \pi d_н^3/32(1-\alpha^4) \approx 0{,}1d_н^3\ (1-\alpha^4)$
   в) *прямоугольное* $W_x = bh^3/12$
   г) *прокатный профиль (двутавр, уголок, швеллер)* находим номер по таблице.

3. Определение допускаемой нагрузки.
   1) по эпюре определяем максимальный момент, выразив его через внешний момент
   2) Вычислим допускаемый момент $[M_и] = [\sigma_и] \cdot Wp$.
   3) Приравняем $M_{x\,max}$ из эпюры к вычисленному допускаемому и определяем M.

Ход работы:

1. Вычислить реакции опор.
2. Зарисовать расчетную схему, где все силы, реакции опор, размеры проставлены в числах.
3. В зависимости от типа задачи провести расчет.
4. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Что называется балкой?
2. Как определить величину $M_и$ в поперечном сечении балки?
3. Как определяется знак $M_и$?
4. Как определить величину и знак поперечной силы Q при изгибе?
5. Какой изгиб называется чистым?
6. Какой изгиб называется прямым поперечным?
7. Условие прочности при изгибе.
8. Осевой момент сопротивления сечения.
9. Три вида задач, вытекающих из условия прочности при изгибе.
10. В каких сечениях на эпюре поперечных сил наблюдается скачок?
11. В каких сечениях на эпюре моментов изгибающих наблюдается скачок?
12. Как изменяется поперечная сила Q при изгибе на участке между сосредоточенными силами?
13. Как применяется $M_и$ на участке между сосредоточенными силами?

Литература

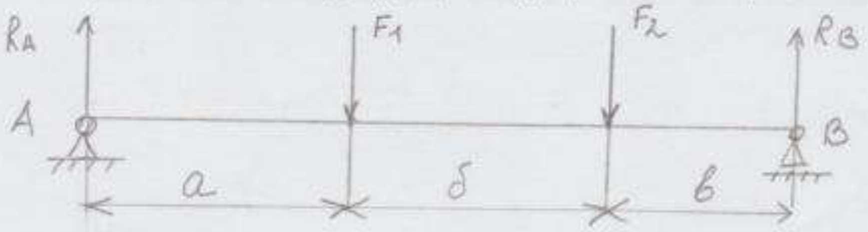
1. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий - М.: Инфра-М; Форум, 2011. 352 с.

2. Мовнин М.С., Основы технической механики - СПб; Политехника, 2011. 286 с.

3. Эрдеди А.А. Эрдеди Н.А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов.- Р-н-Д; Феникс, 2010. 320 с.

Варианты заданий

Подобрать сечение в виде круга, если допускаемое напряжение 160 МПа



№ п/п	а(м)	б(м)	в(м)	F_1(Н)	F_2(Н)
1	3	2	1	20	30
2	2	1	3	10	20
3	4	1	3	20	30
4	1	2	2	30	10
5	2	3	1	40	20
6	4	3	2	40	30
7	5	3	4	30	40
8	1	2	5	20	30
9	3	2	4	10	20
10	2	1	1	50	10
11	1	2	3	30	30
12	4	2	3	40	40
13	5	3	2	10	40
14	3	2	1	20	20
15	1	2	3	20	30
16	2	3	4	10	30
17	3	1	3	30	20
18	4	3	2	40	30
19	5	3	4	10	20
20	1	4	5	20	40
21	2	5	4	30	20
22	4	3	2	40	30
23	5	2	1	40	50
24	3	4	1	20	30
25	1	3	2	20	10
26	2	3	4	30	40

Лабораторная работа №1

«Определение центра тяжести плоских фигур».

Цель работы: «Определить центр тяжести сложной плоской фигуры аналитическим и опытным путем».

Оборудование и принадлежности: Установка для испытания, плоская фигура, микрокалькулятор, учебная литература.

Теоретическое обоснование:

Материальные тела состоят из элементарных частиц, положение которых в пространстве определяется их координатами. Силы притяжения каждой частицы к Земле можно считать системой параллельных сил; равнодействующая этих сил называется силой тяжести тела или весом тела. Точка приложения силы тяжести тела называется центром тяжести тела. Центр тяжести – это геометрическая точка, которая может быть расположена и вне тела (например, диск с отверстием или полый шар).

Большое практическое значение имеет определение центра тяжести тонких плоских однородных пластин. Их толщиной обычно можно пренебречь и считать, что центр тяжести расположен в плоскости.

Если координатную плоскость $X\,0\,Y$ совместить с плоскостью фигуры, то положение центра тяжести определяется двумя координатами:

$$X_C = \sum_{i=1}^{n} S_{yi} / \sum_{i=1}^{n} A_i = \sum_{i=1}^{n} A_i X_i / \sum_{i=1}^{n} A_i;$$

$$Y_C = \sum_{i=1}^{n} S_{xi} / \sum_{i=1}^{n} A_i = \sum_{i=1}^{n} A_i y_i / \sum_{i=1}^{n} A_i,$$

где S_{xi} – статический момент площади части фигуры относительно оси «y»;
A_i – площадь части фигуры;
X_i, y_i – координаты центра тяжести частей фигуры;
S_{yi} – статический момент площади части фигуры относительно оси «x».

Ход работы:

1. Начертить фигуру, проставить размеры
2. Провести оси координат так, чтобы они охватывали всю фигуру
3. Разбить сложную фигуру на простые фигуры, положение центра тяжести которых известны (круг, прямоугольник, треугольник, сектор, сегмент…). Указать центры тяжести простых фигур
4. Определить площадь, координаты центра тяжести и статические моменты площади простых фигур относительно выбранной системы координат
5. Результаты свести в таблицу.

№ п.п.	Вид фигуры	X_i	Y_i	A_i	S_{xi}	S_{yi}

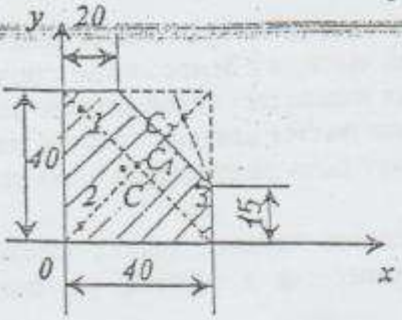
6. Вычислить координаты центра тяжести плоской фигуры аналитически, нанести его на фигуру карандашом.
7. Проверить правильность найденного центра тяжести опытным путем.
   Подвесить фигуру в одной точке и проверить, проходит ли нить отвеса через центр тяжести; подвесить фигуру в другой точке и проверить, проходит ли нить отвеса через центр тяжести; повторить опыт, подвесив фигуру в третьей точке.
8. Сделать вывод о положении центра тяжести при аналитическом и опытном определении.

Примечание: Площадь и статический момент площади отверстий берут со знаком минус.

Контрольные вопросы:

1. Можно ли рассматривать силу тяжести тела как равнодействующую систему параллельных сил.
2. Может ли располагаться центр тяжести тела вне тела?
3. Какой знак имеет площадь отверстий в формуле определения координат центра тяжести сложной фигуры?
4. На пересечении каких линий треугольника находится его центр тяжести?
5. Дать определение статического момента площади относительно оси «x», относительно оси «y».

Пример: *Определить координаты центра тяжести данной плоской фигуры.*



1) Нарисуем плоскую фигуру, проставим размеры в *мм*.
2) Проведем оси координат.
3) Разобьем на простые фигуры, проставим их центры тяжести. Достроим данную фигуру до прямоугольника, центр тяжести которого находится на пересечении диагоналей (т.C_1), т.C_1 *(20, 20)* – координаты точки C_1.

В формулу для определения координат центра тяжести всей фигуры, площадь и статический момент площади войдет со знаком плюс.

Второй фигурой является треугольник. Найдем его центр тяжести, он находится на пересечении медиан т.C_2.

Найдем координаты центра тяжести треугольника C_2 *(33,3; 31,7)*.

В формулу для определения координат центра тяжести всей фигуры площадь треугольника и его статические моменты войдут со знаком минус.

4) Определим площадь прямоугольника и треугольника и их статические моменты. Результаты сведем в таблицу:

№ п.п.	Вид фигуры	A_i ($мм^2$)	X_i (мм)	Y_i (мм)	S_x ($мм^3$)	S_y ($мм^3$)
1.		1600	20	20	$32 \cdot 10^3$	$32 \cdot 10^3$
2.		250	33,3	31,7	7925	8325
		1350	17,54	17,83	24075	23675

5) Определим координаты центра тяжести всей фигуры

$$X_C = S_y / A = 23675 / 1350 = 17{,}54 \text{ (мм)}$$
$$Y_C = S_x / A = 24075 / 1350 = 17{,}83 \text{ (мм)}$$

Литература

1. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий - М.: Инфра-М; Форум, 2011. 352 с.

2. Мовнин М.С., Основы технической механики - СПб; Политехника, 2011. 286 с.

3. Эрдеди А.А. Эрдеди Н.А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов.- Р-н-Д; Феникс, 2010. 320 с.

Лабораторная работа №2

«Определение коэффициента трения различных материалов»

<u>Цель работы</u>: Изучить законы трения , методику расчета коэффициента трения скольжения.

<u>Методическое обеспечение</u>: Учебная литература , микрокалькулятор , методическое указания для выполнения работы.

<u>Приборы и оборудование</u>: Лабораторная установка для изучения законов трения.

<u>Теоретическое обоснование:</u>

Трение-сопротивление , возникающее при движении одного шероховатого тела по поверхности другого.

Сила сопротивления движению при скольжении называется *силой трения скольжения.*

$$F_{тр} = F_f = fR,$$

где R-сила нормального давления ,направлена перпендикулярно опорной поверхности;

f-коэффициент трения скольжения.

В случае движения тела по наклонной плоскости.

$$R = G\cos a,$$

где a- угол наклона плоскости к горизонту.

Сила трения всегда направлена в сторону , обратную направлению движения.

Сила трения меняется от 0 до некоторого максимального значения , называемого силой трения покоя (статическое трение):

$$0 < F_f < F_{f0},$$

F_{f0}-*статическая* сила трения (сила трения покоя).

Сила трения при движении меньше силы трения покоя .Сила трения при движении называется *динамической* силой трения (F_f):

$$F_f < F_{f0}.$$

Трение качения.

Сопротивление при качении связано с взаимной деформацией грунта и колеса и значительно меньше трения скольжения.

Обычно считают грунт мягче колеса , тогда в основном деформируется грунт , и в каждый момент колесо должно перекатываться через выступ грунта. Для равномерного качения колеса необходимо прикладывать силу $F_{дв}$.

Условия качения колеса состоит в том , что движущийся момент должен быть не меньше момента сопротивления:

$$F_{двг} > Nk;$$

$$N = G; \qquad F_{дв} > k\frac{G}{r}$$

где k- максимальное значение плеча.

Ориентировочные значения k(определяются экспериментально):сталь по стали – k =0,005см; резиновая шина по шоссе – k=0,24см

Порядок выполнения работы:

1.Положить образец из стали (латуни, чугуна) на вертикальную поверхность лабораторной установки.

2.Соединить исследуемый образец с динамометром

3.Включить двигатель установки.

4.Определить показания динамометра в момент начала скольжения образца.

5.Определить силу нормального давления образца на опорную поверхность

6.Определить коэффициент трения.

$$F_{тр} = f R,$$

7.Данные занести в таблицу

Материалы	F (H)	G (H)	f (вычисл.)	f (норм.)
сталь-сталь (в сухую)				0,1-0,15
латунь-сталь				0,16-0,20
чугун-сталь				0,15-0,18

Контрольные вопросы:

1.Что называют трением ?

2. Как направлена сила трения?

3.В чем заключается условие качения колеса ?

4.Перечислите факты, влияющие на величину трения скольжения.

5.Перечислите законы трения скольжения.

Литература

1. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий - М.: Инфра-М; Форум, 2011. 352 с.

2. Мовнин М.С., Основы технической механики - СПб; Политехника, 2011. 286 с.

3. Эрдеди А.А. Эрдеди Н.А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов.- Р-н-Д; Феникс, 2010. 320 с.

Лабораторная работа №3

Определение модуля сдвига

<u>Цель работы</u>: Определить модуль сдвига для заданной пружины.
<u>Теоретическое обоснование</u>: Витки цилиндрических винтовых пружин при растяжении (сжатии) работают в основном на кручение. Рассечем мысленно пружину сечением, перпендикулярным винтовой оси стержня. При малом шаге витков и, следовательно, малом угле их наклона к горизонту, можно считать, что проведенное сечение лежит в вертикальной плоскости, т.е. проходит через ось пружины (линию действия силы).Рисунок1

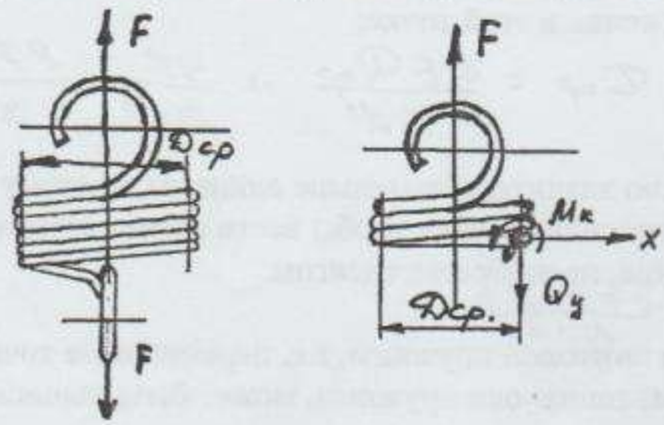


Рисунок 1

Отбросим мысленно верхнюю часть пружины. Верхняя часть должна находиться в равновесии под действием внешней силы и внутренних силовых факторов в сечении.

$$\Sigma F_{iy} = 0 \; ; \quad -Q_y + F = 0 \quad ; \; Q_y = F$$

$$\Sigma M_0 = 0 \; ; \quad F\frac{D_{cp}}{2} - M_K = 0 ; \quad M_K = F\frac{D_{cp}}{2}$$

Итак, в поперечных сечениях витка пружины возникают поперечная сила и крутящий момент. В сечении возникают касательные напряжения среза и касательные напряжения кручения. Считаем, что касательные напряжения среза распределены по сечению равномерно, их величина определяется по формуле: $\tau_{cp} = \frac{Q}{A_{cp}} = \frac{F}{(\pi d^2/4)} = \frac{4F}{\pi d^2}$

Касательные напряжения кручения изменяются вдоль радиуса по закону прямой линии и достигают наибольших значений в точках у наружной поверхности. $\tau_{K\,max} = \frac{M_K}{W_\rho} = \frac{\left(\frac{F D_{cp}}{2}\right)}{(\pi d^3/16)}$

Распределение напряжений по сечению стержня показаны на рисунке 2

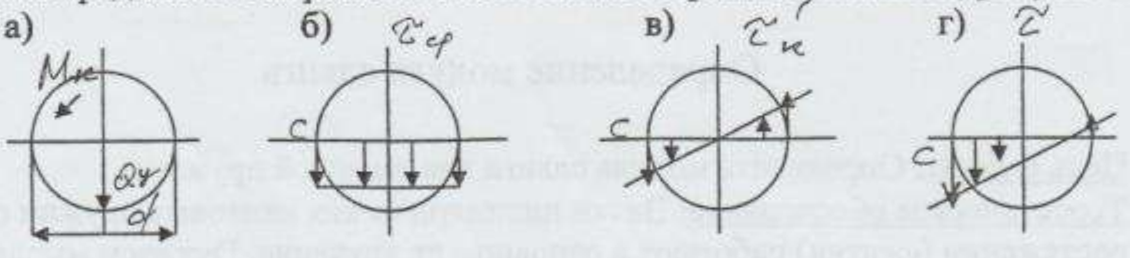


Рисунок 2

Опасной является та точка у поверхности, на контуре сечения, в которой напряжения $\tau_{ср}$ и $\tau_{к\,max}$ совпадает по напряжению

Полное касательное напряжение в этой точке:

$$\tau_{max} = \tau_{к\,max} + \tau_{ср} = \frac{8FD_{ср}}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{8FD_{ср}}{\pi d^3}\left(1 + \frac{d}{D_{ср}\cdot 2}\right)$$

Отношение $\frac{d}{D_{ср}\cdot 2}$ обычно значительно меньше единицы, поэтому им можно пренебречь, это равносильно тому, чтобы вести расчет стержня пружины только на кручение, пренебрегая сдвигом.

$$G = \frac{8FD_{ср}^3 n}{\lambda \cdot d^4}$$

Осадка цилиндрической винтовой пружины, т.е. перемещение точки приложения силы по направлению оси пружины, может быть вычислено по формуле:

$$\lambda = \ell - \ell_0$$

F – осевая нагрузка (н)

$D_{ср}$ – средний диаметр витка пружины (мм)

n – число рабочих витков

G – модуль сдвига (н/мм^2)

d – диаметр стержня пружины (мм)

ℓ - длина пружины без нагрузки

$\ell_н$ – длина пружины под нагрузкой

Эта формула является приближенной, т.к. в ней не учтены влияние поперечной силы, кривизна стержня; угол подъема витков пружины от величины действующей нагрузки, называют характеристикой пружины.

Ход работы:

1. Измерить диаметр проволоки.
2. Измерить наружный диаметр витков.
3. Вычислить средний диаметр витка пружины.
4. Подсчитать число рабочих витков.
5. Замерить высоту пружины без нагрузки.
6. Произвести нагружение пружины равными ступенями и замерить высоту пружины под нагрузкой.
7. Вычислить осадку пружины
8. Вычислить модуль сдвига.
9. Данные свести в таблицу.
10. Выполнить эскиз установки.
11. Сделать вывод.

Таблица 1

№ п/п	P, н	$\ell_н$, мм	λ, мм	n	G, н/мм^2	$D_{ср}$, мм	d, мм	ℓ, мм
1								
2								

Контрольные вопросы

1. Как изменится величина осадки пружины, если диаметр проволоки уменьшится в три раза?
2. Какие факторы не учитываются формулой для подсчета величины осадки пружины?
3. Какая зависимость существует между осевой нагрузкой и перемещением точки приложения силы по направлению оси пружины?
4. На какой испытательной машине можно определить характеристику пружины?
5. Как строят характеристику пружины?

Литература

1. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий - М.: Инфра-М; Форум, 2011. 352 с.

2. Мовнин М.С., Основы технической механики - СПб; Политехника, 2011. 286 с.

3. Эрдеди А.А. Эрдеди Н.А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов.- Р-н-Д; Феникс, 2010. 320 с.

Лабораторная работа №4

Определение геометрических параметров зубчатых колес по их обмерам.

Цель работы :

1. Приобретение и закрепление навыков работы с мерительным инструментом.

2. Определение размеров зубчатых колес путем их обмера.

3. Закрепление знаний, полученных при измерении геометрии зубчатых колес.

Оборудование и инструмент

- Мерительная линейка
- штангенциркуль
- набор зубчатых колес

Теоретическое обоснование

Поверхности взаимодействующих зубьев должны обеспечить постоянство передаточного числа. Профили зубьев должны подчиняться определенным требованиям, вытекающим из основной теории зацепления: общая нормаль, проведенная через точку касания профилей, делит расстояние между центрами $O_1 O_2$ на части, обратно пропорциональные угловым скоростям.

Практическое применение получило эвольвентное зацепление благодаря технологичности и достаточно высокой несущей способности. Рабочими профилями зубьев колес служит эвольвента. Каждое эвольвентное колесо нарезано так, что может сцепляться с соответствующими колесами, имеющими любое число зубьев.

Все геометрические параметры зубчатых передач стандартизированы.

С кинематической точки зрения зацепление зубчатых колес эквивалентно качению без скольжения двух окружностей с диаметром $O_2П$ и $O_1П$.

В качестве основного параметра зубчатых колес принят модуль.

Модуль — расчетная величина, равная отношению окружного шага зубьев p_t по делительной окружности к числу π: $m=p_t/\pi$

Шаг зацепления – расстояние между двумя одноименными профилями соседних зубьев по длительной окружности. Шаги сцепляющих зубьев должны быть равны.

Длительная окружность делит зуб на две части: головку и ножку.

Геометрия цилиндрических колес определяется несколькими концентрическими окружностями.

Основные параметры зубчатого колеса могут быть выражены через модуль m.

Диаметр делительной окружности $d=mz$, где z – число зубьев.

Диаметр окружности выступов $d_a= d+2h_a=m(z+2)$.

Диаметр окружности впадин $d_f = d - 2h_f = m(z - 2,5)$.
Высота головки зуба $h_a = m$
Высота ножки зуба $h_f = 1.25m$.
Для обеспечения взаимозаменяемости модули зубьев цилиндрических колес стандартизированы.
Основными геометрическим параметром цилиндрической передачи является межосевое расстояние $a_w = (d_1/2) + (d_2/2) = m(z_1 + z_2)$.

Порядок выполнения работы :

1.Изучить конструкцию зубчатого колеса (колес)
2.Замерить диаметр вершин зубьев **da** зубчатых колес.
3.Сосчитать число зубьев **z** каждого зубчатого колеса.
4.Используя формулу **da = m(z+2),** определить модули **m**.
5.Рассчитать замером диаметры **d** зубчатых колес **d=mz**
6.Определить замером ширину венца в каждого цилиндрического зубчатых колес и рассчитать их с помощью формулы **df = d-2,5m**.
7.Определить замером ширину венца в каждого цилиндрического зубчатого колеса.
8.Результаты замеров и расчеты параметров каждого зубчатого колеса занести в таблицу .

Таблица 1. Результаты замеров и расчетов параметров зубчатых колес

Число зубьев **z**	Диаметр вершин **d a ,мм**	модуль **m,мм**	Делительный диаметр **d, мм**	диаметр окружности **df, мм**	Ширина венца **b,мм**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**

Содержание отчета:

1. Расчет размеров зубчатых колес
2. Таблица размеров и расчетов параметров каждого зубчатого колеса
3. Эскиз зубчатого колеса (указать основные размеры)

Контрольные вопросы:

1.Привести классификацию зубчатых колес по профилю зуба.
2. Привести классификацию зубчатых передач по расположению осей.
3.В чем заключаются достоинства и недостатки зубчатых передач?
4.Укажите причины выхода из строя зубчатых передач

ПРИМЕРНЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

Наименование параметра	Обозначение	Формула
1	2	3
Число зубьев	z	-
Расчетный модуль	m	m = Pt/3,14
Диаметр делительный	d	d = z*m
Окружной шаг зубьев	Pt	Pt = 3,14*m
Высота зуба	h	h = 2,25*m
Высота головки	ha	ha = m
Высота ножки	hf	hf = 1,25*m
Диаметр вершин зубьев	da	da = d + 2*ha
Диаметр впадин зубчатого колеса	df	df = d-2*hf
Окружная толщина зуба	St	St = 0,5*Pt
Окружная ширина впадин зубчатого колеса	Et	Et = 0,5*Pt
Ширина зубчатого венца	b	(6....8)*m
Диаметр вала	db	-
Диаметр ступицы	dcт	dcт = (1,6...1,8)db
Длина ступицы	Lcт	Lcт = (1,2...1,5)db
Толщина обода зубчатого венца		(2...3)*m
Радиус кривизны переходной кривой	Qf	Qf = 0,25 *m
Размер шпоночного паза		по ГОСТ 8788-68

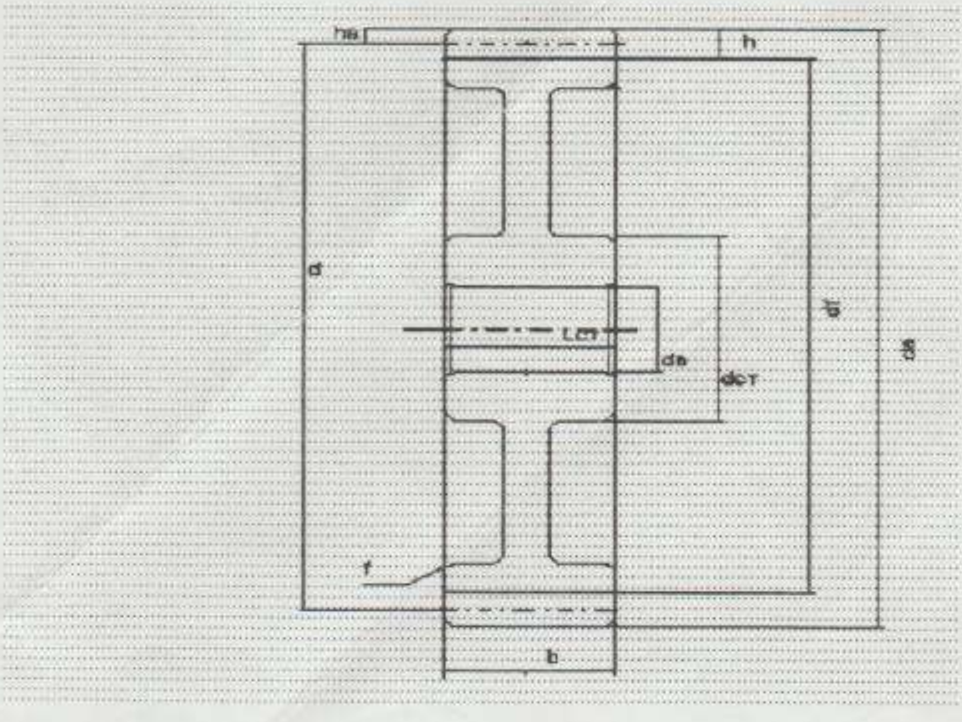


Рис. 1. Параметры зубчатого колеса

Литература

1. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий - М.: Инфра-М; Форум, 2011. 352 с.

2. Мовнин М.С., Основы технической механики - СПб; Политехника, 2011. 286 с.

3. Эрдеди А.А. Эрдеди Н.А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов.- Р-н-Д; Феникс, 2010. 320 с.