Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Ивановский государственный химико-технологический
университет

Т.Г. Комарова, В.П. Зарубин

МЕХАНИКА

Часть 1. Статика.
Часть 2. Основы расчетов на прочность

Методическое пособие
для самостоятельной работы студентов

Под редакцией В.Г. Мельникова

Иваново 2008

УДК 621.8.

Комарова Т. Г., Зарубин В. П. Механика. Ч. 1. Статика. Ч. 2. Основы расчетов на прочность: методическое пособие / Под ред. В. Г. Мельникова.; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2008. -74с.

Методическое пособие содержит развернутую программу лекционного курса дисциплины «Механика» (разделы «Статика», «Основы расчетов на прочность»), вопросы для самоконтроля, задачи для самостоятельного решения, примеры решения задач по указанным разделам, а также некоторые справочные данные.

Предназначено для студентов технологических специальностей дневной и заочной форм обучения.

Рецензенты: кафедра механики Ивановской государственной сельскохозяйственной академии; кандидат технических наук В.В. Киселев (Ивановский институт ГПС МЧС России).

ВВЕДЕНИЕ

В курсе «Механика» студенты технологических специальностей изучают три части:

1. Теоретическая механика (раздел «Статика»)
2. Сопротивление материалов
(Основы расчетов на прочность)
3. Детали машин

Первые две части изучаются в третьем семестре (зачет и экзамен), третья – в четвертом семестре (зачет и экзамен), в пятом семестре студенты выполняют курсовой проект по деталям машин (дифференцированный зачет).

Освоение курса «Механика» предусматривает как аудиторную, так и внеаудиторную самостоятельную работу студентов. Аудиторные занятия состоят из лекций, практических занятий и консультаций по курсовому проекту На самостоятельную работу отводится по учебным планам около 50% трудоемкости дисциплины. В самостоятельную работу входит: подготовка к практическим занятиям и контрольным работам, выполнение домашних заданий, подготовка к зачетам и экзаменам, работа над курсовым проектом и его защита.

В связи с постоянным сокращением объема аудиторных занятий, возрастает роль самостоятельной работы студентов при изучении курса «Механика», когда студенты должны и вынуждены научиться работать с учебниками и задачниками.

В течение 3 и 4 семестра студенты выполняют домашние и контрольные задания, темы и варианты которых приведены в методических указаниях №776, 778, 780, 991, хотя у каждого преподавателя, ведущего практические занятия, есть право и возможность изменить содержание заданий в пределах требований учебной программы. График проведения контрольных работ назначается преподавателем и утверждается на заседании кафедры. В конце семестра студенты пишут зачетную работу или проходят компьютерное тестирование, что является допуском к экзамену.

Для успешного изучения механики необходимо научиться самостоятельно схематизировать механические явления и уметь конкретные физические задачи облекать в абстрактную математическую форму.

Весьма важно понимать физическую сущность изучаемых явлений и уметь пользоваться математическими методами при решении задач по механике.

Прочитав по учебнику соответствующий материал, надо тщательно в нем разобраться, понять предлагаемые формулировки и доказательства теорем. После изучения каждого параграфа полезно написать, не заглядывая в книгу, формулировки определений и теорем, сравнить их с формулировками, данными в учебнике. Необходимо иметь в виду, что в хорошо составленной формулировке каждое слово имеет определенное значение и не может быть выброшено без ущерба для ее ясности и полноты.

Нельзя заучивать определение или теорему наизусть без достаточного понимания. Важно понять значение каждого слова в формулировке теоремы или определения.

Необходимо не только понять предлагаемое в учебнике доказательство, но и уметь воспроизвести его, т.е. самостоятельно доказать теорему. Для этого рекомендуется сделать видоизмененный чертеж к изучаемой теореме, не срисовывая его из учебника. Таким путем можно избежать чисто механического запоминания и более глубоко уяснить смысл теоремы. После изучения каждой главы или теоремы рекомендуется составлять краткий конспект.

Основательно усвоив теоретические положения каждой темы программы, следует переходить к решению задач, относящихся к теме, для чего необходимо подробно разобрать имеющиеся в учебнике примеры и решенные задачи. Для закрепления материала рекомендуется решить несколько задач, приведенных в данном пособии, по изучаемой теме.

Приступая к самостоятельному решению задачи, необходимо предварительно составить план решения и установить, какие теоремы или уравнения следует применить

в данном случае. Чертеж для решения задачи надо делать аккуратно, придерживаясь масштаба, так как небрежно сделанный чертеж часто ведет к ошибкам.

Заканчивая изучение каждой темы программы, нужно ответить на все вопросы для самоконтроля, что особенно необходимо при подготовке к экзамену. Умение самостоятельно, не заглядывая в учебник, давать точные ответы на эти вопросы, свидетельствует об успешном усвоении курса.

Вопросы для самоконтроля приведены в каждом разделе данного пособия после программы курса. Задания для самостоятельного решения отражают содержание контрольных и тестовых заданий по указанным разделам.

Продуманное и равномерное распределение работы с первого до последнего дня семестра поможет студентам более эффективно освоить курс «Механика» и избежать перегрузок в конце семестра.

Часть I. СТАТИКА

Для изучения с т а т и к и необходимо уметь свободно оперировать тригонометрическими функциями и решать прямоугольные треугольники; из теории косоугольных треугольников знать теорему синусов и косинусов; из аналитической геометрии — систему декартовых координат на плоскости и в пространстве; по векторной алгебре — сложение и вычитание векторов, теорию проекций, разложение вектора по координатным осям, скалярное и векторное умножение и основные свойства скалярного и векторного произведений

ПРОГРАММА КУРСА

1.1. **Основные понятия и аксиомы статики.** Абсолютно твердое тело. Материальная точка. Сила; сила как вектор; способы измерения силы и ее единицы; сила тяжести. Силы распределенные и сосредоточенные. Эквивалентные системы сил. Уравновешивающая сила. Силы внешние и внутренние. Основные задачи статики.

Первая аксиома статики (условие равновесия двух сил). Вторая аксиома (принцип присоединения и исключения уравновешенной системы сил). Перенос силы вдоль линии ее действия (сила — скользящий вектор). Третья аксиома (закон параллелограмма). Четвертая аксиома (закон равенства действия и противодействия). Пятая аксиома (принцип отвердевания). Свободное и несвободное тело. Связи. Реакции идеальных связей и правила определения направления этих связей. Теорема о трех силах.

1.2. **Плоская система сходящихся сил (ПлССС).** Система сходящихся сил. Определение модуля и направления равнодействующей двух сил, приложенных в одной точке. Разложение силы на две составляющие, приложенные в той же точке. Сложение

плоской системы сходящихся сил. Силовой многоугольник. Проекция силы на ось; правило знаков. Проекция силы на две перпендикулярные оси. Аналитическое определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил (метод проекций). Геометрическое условие равнодействия плоской системы сходящихся сил. Аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил (уравнения равновесия).

1.3. **Пара сил.** Вращающее действие пары на тело. Плечо пары; момент пары; знак момента. Момент пары как вектор. Эквивалентность пар. Возможность переноса пары в плоскости ее действия (момент пары – свободный вектор). Сложение пар. Условие равновесия пар. Теорема Пуансо о параллельном переносе силы.

1.4. **Плоская система произвольно расположенных сил** (ПлПрСС). Вращающее действие силы на тело. Момент силы относительно точки. Приведение плоской системы сил к данной точке. Главный вектор и главный момент плоской системы сил. Равнодействующая плоской системы сил. Теорема Вариньона о моменте равнодействующей. Частные случаи приведения.

Условия равновесия плоской системы сил. Уравнения равновесия (три вида). Уравнение равновесия плоской системы параллельных сил (два вида). Рациональный выбор начала координат; направление координатных осей и центра моментов при решении задач. Связи с трением. Отклонение направления реакции связи от нормали к поверхности, сила трения, коэффициент трения, угол трения, конус трения. Условия самоторможения.

1.5. **Пространственная система сил (ПрСС).** Параллелепипед сил. Равнодействующая пространственной системы сходящихся сил. Проекция силы на три взаимно перпендикулярные координатные

оси. Равновесие пространственной системы сходящихся сил.

Момент силы относительно оси. Общий случай действия пространственной системы сил на тело. Понятие о главном векторе и главном моменте пространственной системы. Шесть уравнений равновесия ПрСС (без вывода). Три уравнения равновесия пространственной системы параллельных сил. Частные случаи приведения пространственной системы сил к простейшему виду.

1.6. **Центр тяжести.** Центр параллельных сил и его свойства. Формулы для определения положения центра параллельных сил. Сила тяжести. Центр тяжести как центр параллельных сил. Формула для определения положения центра тяжести тела, составленного из однородных объемов, из тонких однородных пластин (площадей), из тонких стержней (линий). Положение центров тяжести простых геометрических фигур: прямоугольника, треугольника, дуги окружности (без вывода), кругового сектора. Определение положения центров тяжести тонких пластин и сечений, составленных из простых геометрических фигур и из стандартных профилей проекта. Статический момент сечения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М. Наука, 2003 и др. издания.

2. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. М., Наука, 1985.

3. Никитин Н.Н Курс теоретической механики. М. Наука, 1990.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какое тело называется абсолютно твердым?
2. Какими тремя факторами определяется сила, действующая на твердое тело?
3. Какая сила называется равнодействующей данной системы сил?
4. Чем отличается равнодействующая данной системы сил от силы, уравновешивающей эту систему?
5. В чем состоит принцип затвердевания?
6. Если деформируемое (не абсолютно твердое) тело находится в равновесии под действием системы сил, то будут ли эти силы удовлетворять условиям равновесия абсолютно твердого тела?
7. Какое тело называется несвободным?
8. Что называется силой реакции связи?
9. Как направлена сила реакции гладкой неподвижной поверхности, на которую опирается абсолютно твердое тело? Как направлена сила давления тела на эту поверхность? Всегда ли эти силы равны по величине?
10. Как сформулировать правило силового многоугольника?
11. Как формулируется теорема о проекции равнодействующей силы на данную ось?
12. Объясните аналитический способ сложения сил, приложенных в одной точке?
13. Как формулируются условия равновесия системы сил в геометрической и аналитической формах?
14. Известно, что сумма проекций на данную ось всех сходящихся сил, приложенных к телу, равна нулю. Как направлена равнодействующая такой системы сил, если она равна нулю?
15. Сформулируйте теорему о трех уравновешивающихся непараллельных силах.
16. Что называется моментом силы относительно данной точки? Как выбирается знак этого момента?

17. В каком случае момент силы относительно точки равен нулю?
18. Что называется моментом силы относительно данной оси? Как выбирается знак этого момента?
19. В каких случаях момент силы относительно данной оси равен нулю?
20. Как направлен вектор-момент силы относительно данной точки?
21. Какая зависимость существует между вектором-моментом силы относительно данной точки и моментом той же силы относительно оси, проходящей через эту точку?
22. Если вектор-момент данной силы относительно начала координат лежит в координатной плоскости Oxy, то чему равен момент этой силы относительно оси Oz?
23. Вектор-момент данной силы относительно начала координат направлен по биссектрисе координатного угла Oxz. Чему равны моменты этой силы относительно координатных осей: Ox, Oy и Oz?
24. Что называется парой сил?
25. Как направлен и чему равен по величине вектор-момент пары?
26. При каком условии две пары будут эквивалентны?
27. Могут ли быть эквивалентны две пары, лежащие в пересекающихся плоскостях?
28. Как читается теорема о сложении пар?
29. Как формулируется условие равновесия системы пар?
30. Чему равна проекция вектора-момента равнодействующей пары на данную ось?
31. Что называется главным вектором данной системы сил?
32. Что называется главным моментом системы сил относительно данной точки?

33. Чему равны проекции главного вектора данной системы сил на каждую из координатных осей?
34. Чему равны проекции главного момента данной системы сил относительно начала координат на каждую из координатных осей?
35. Как формулируются условия равновесия пространственной системы сил?
36. Как формулируются условия равновесия плоской системы сил?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1.1. Может ли сумма двух векторов быть меньше любого из них?

1.2. Можно ли силу в 1 Н разложить на две силы по 0,4 Н? по 100 Н?

1.3. Может ли разность двух векторов быть больше любого из них?

1.4. Какая сила имеет две отрицательные проекции (рис.1.1)?

1.5. Чем является в параллелограмме векторная сумма? векторная разность?

1.6. Чему равны проекции сил на ось OX (рис.1.2, рис.1.3.)?

1.7. Свободным или несвободным телом является намагниченная металлическая пластинка, повисшая между полюсами постоянного магнита?

1.8. Как направлена равнодействующая R системы сил, если сумма проекций этих сил на ось OY равна 0?

1.9. Чему равны проекии сил на ось OY (рис.1.4, рис. 1.5.)?

1.10. Имеет ли решение задача разложения заданной силы на две составляющие, если известны модуль одной составляющей и направление другой?

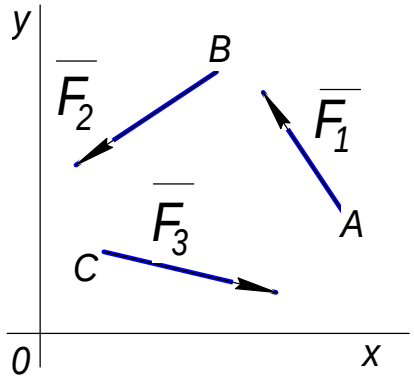


Рис.1.1

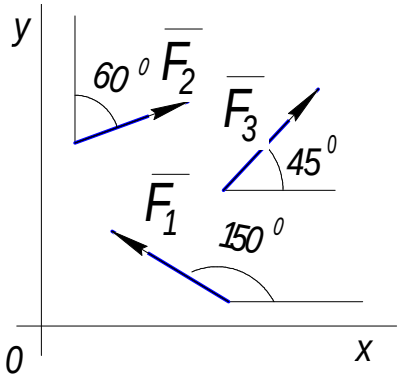


Рис.1.2.

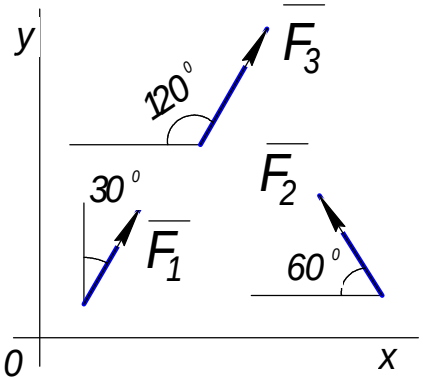


Рис.1.3.

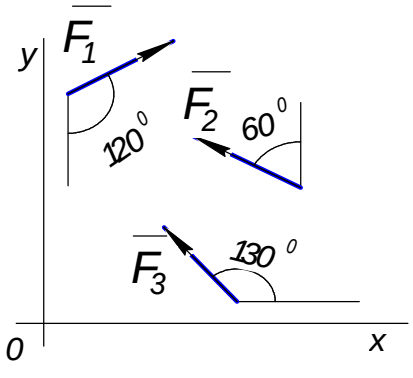


Рис.1.4.

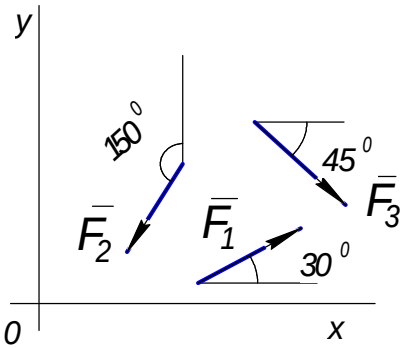


Рис.1.5.

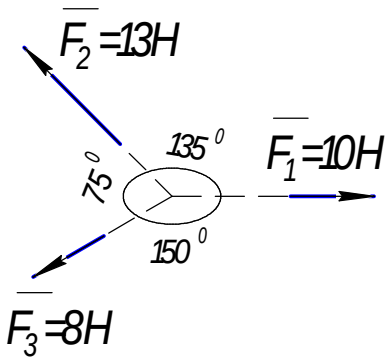


Рис.1.6.

1.11. Какой угол образуют друг с другом две силы приложенные в одной точке, если F_1 = 5 Н, F_2 = 16 Н, их равнодействующая R = 19 Н ?

1.12. Чему равна равнодействующая трех сил, линии действия которых сходятся в одной точке (рис.1.6)?

1.13. Определить, находится ли в равновесии плоская система трех сходящихся сил, если известны проекции сил на оси координат: F_{1x} =10 Н; F_{1y} = 2 Н; F_{2x} = – 4 Н; F_{2y} = 3 Н; F_{3x} = – 6 Н; F_{3y} = –5Н.

1.14. Пользуясь теоремой о трех силах, определите направление реакции связей в точках А и В (рис.1.7, рис.1.8)

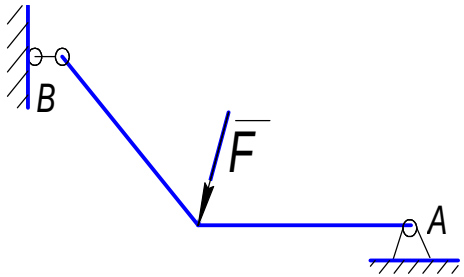


Рис.1.7.

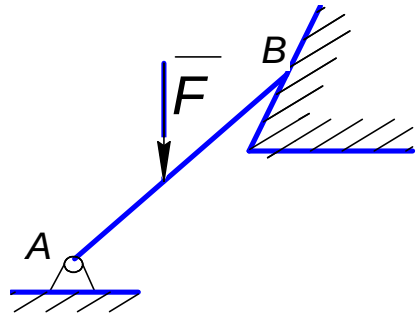


Рис.1.8.

1.15. Пользуясь теоремой о трех силах, определите направление реакции связей в точке А (рис.1.9, рис.1.10)

1.16. Составьте уравнение суммы моментов всех сил относительно точки А (рис. 1.11, 1.12, 1.13)

1.17. Составьте уравнение суммы моментов всех сил относительно точки С (рис.1.14, 1.15, 1.16)

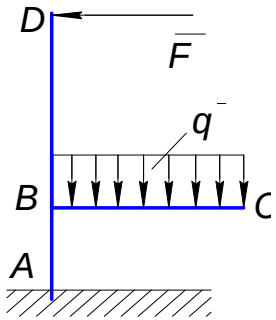


Рис.1.9.

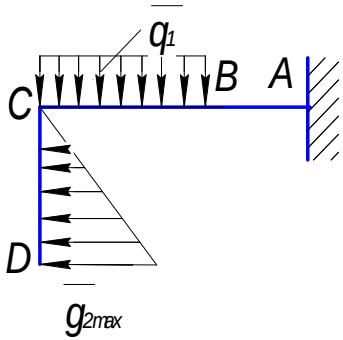


Рис.1.10

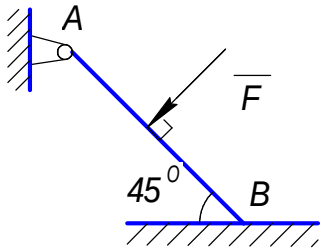


Рис.1.11

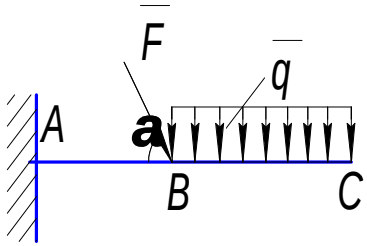


Рис.1.12

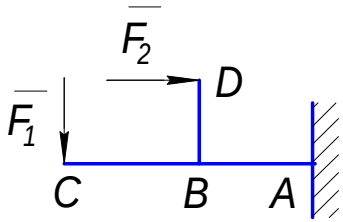


Рис.1.13

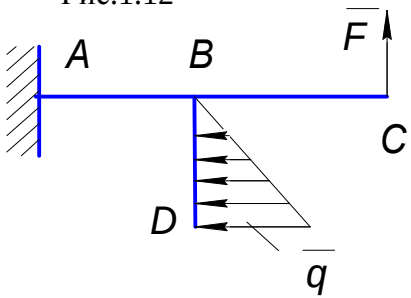


Рис.1.14

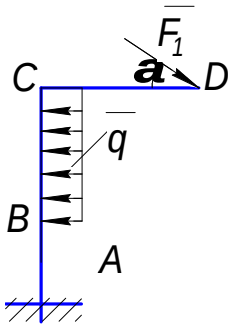


Рис.1.15

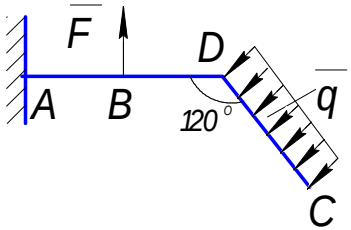


Рис.1.16

1.18. Будет ли находиться в равновесии тело, если к нему приложены три силы, лежащие в одной плоскости, линии действия которых пересекаются в одной точке?

1.19. Можно ли составлять уравнения равновесия для плоской системы сил, используя в качестве осей координат две произвольные прямые?

1.20. На плиту в ее плоскости действуют две пары сил. Определить сумму моментов этих сил, если сила F = 8Н, P = 5Н, расстояния AB = 0,25 м, CD = 0,20 м, углы α = 60 °, β = 70° (рис. 1.17)

1.21. В одной плоскости расположены три пары сил. Определить момент пары сил M_3 , при котором эта система находится в равновесии, если моменты M_1= 510 Нм, M_2 = 120 Нм (рис.1.18)

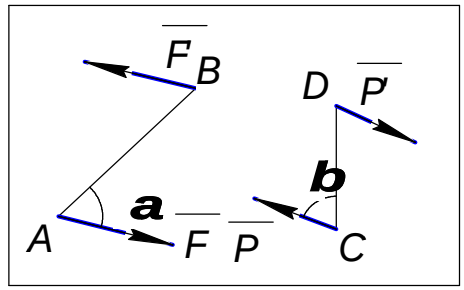


Рис.1.17

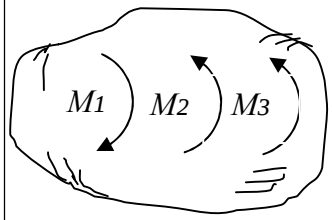


Рис.1.18

1.22. В плоскости квадрата ABCD действуют три пары сил с моментами M_1 = 2 Нм, M_2 = 4 Нм, M_3 = - 3 Нм. Определить проекцию F_Y силы F, направленной вдоль стороны CD, если квадрат не вращается вокруг опоры A (рис.1.19)

1.23. Невесомое кольцо находится под действием двух пар сил с моментами M_1 и M_2, при этом $M_2 > M_1$. Указать направление реакции опоры А (рис.1.20)

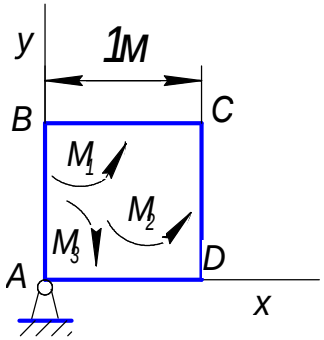


Рис.1.19

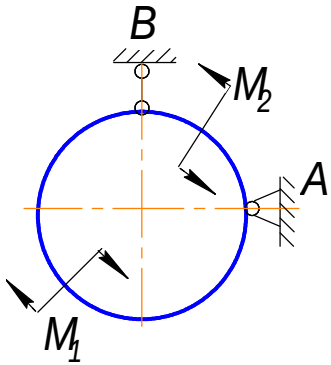


Рис.1.20

1.24. Однородный шар весом 10 Н удерживается в равновесии двумя невесомыми тросами АВ и СД, расположенными в одной вертикальной плоскости (рис.1.21). Определить натяжение тросов.

1.25. На рычаг с неподвижной осью О действуют пара сил с моментом М = 3 Нм и сила F. Определить модуль силы F, при котором рычаг находится в равновесии, если угол α = 45°, длина АО = 0,3 м (рис.1.22).

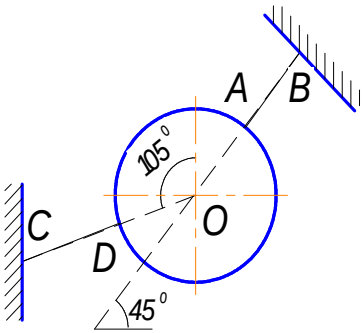


Рис.1.21

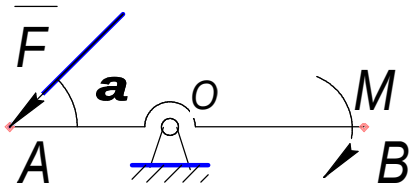


Рис.1.22

1.26. Напишите уравнение суммы моментов всех сил относительно осей OX, OY, OZ(рис.1.23, 1.24)

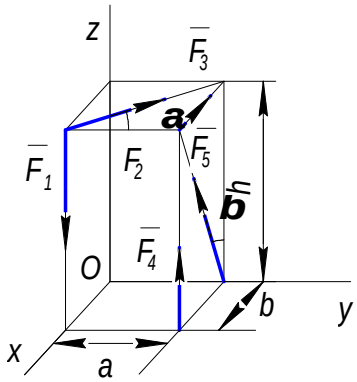


Рис.1.23

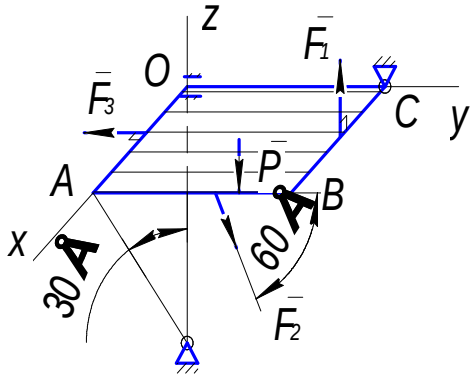


Рис.1.24

1.27. Укажите условия возникновения «динамического винта» с осью, проходящей через центр О

1.28. Изменяются ли главный вектор R и главный момент L = M_O при изменении центра приведения?

1.29. К какому простейшему виду приводится произвольная система сил, если для трех точек О, А и В, не лежащих на одной прямой, $M_O = M_A = M_B = 0$?

1.30. К какому простейшему виду приводится произвольная система сил, если для трех точек О, А и В, лежащих на одной прямой, $M_O = M_A = M_B \neq 0$?

1.31. К какому простейшему виду приводится произвольная система сил, если для трех точек О, А и В, не лежащих на одной прямой, $M_O = M_A = 0$, $M_B \neq 0$?

1.32. Укажите условия, когда пространственная система сил приводится к равнодействующей, не проходящей через центр О.

1.33. На куб действуют силы, модули и направления которых определяются соответствующими ребрами куба (рис. 1.25). Находится ли куб в равновесии?

1.34. К вершинам квадрата приложены четыре силы $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 1$ Н. Определить модуль равнодействующей этой системы сил (рис.1.26)

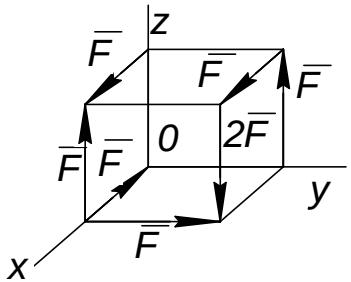


Рис.1.25

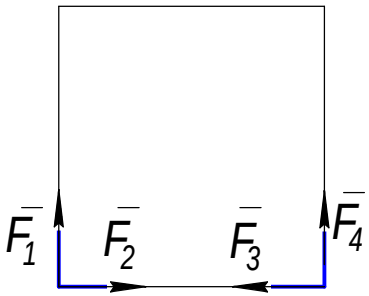


Рис.1.26

1.35. На куб действуют силы, модули и направления которых определяются соответствующими ребрами куба (рис. 1.27). В каком случае система сил приводится к паре сил? [*множественный выбор*]

а) б) в)

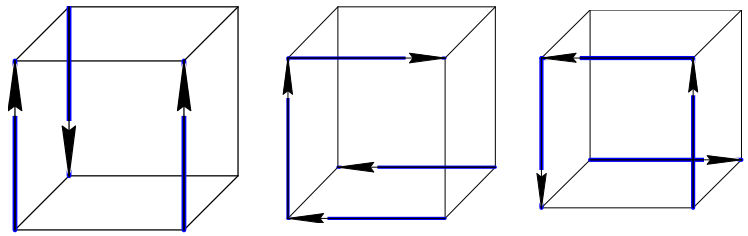


Рис.1.27

1.36. На куб действуют силы, модули и направления которых определяются соответствующими ребрами куба (рис. 1.28). В каком случае система сил приводится к «динамическому винту»? [*простой выбор*]

а) б) в)

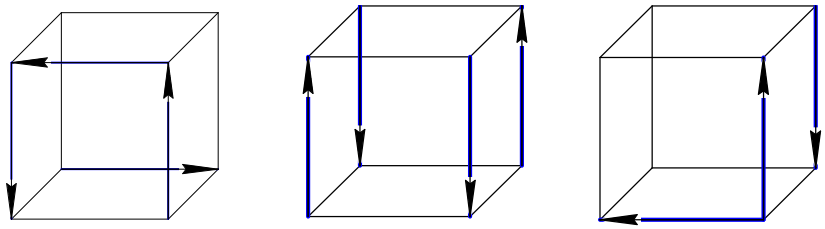
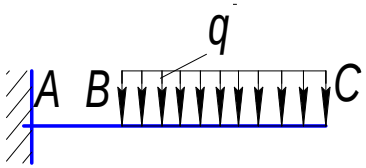


Рис.1.28

1.37. Определить интенсивность нагрузки q, при которой момент в заделке А равен 400 Нм, если размеры АВ = 2 м, ВС = 4 м (рис.1.29)

1.38. При какой интенсивности распределенной нагрузки q момент пары, возникающей в заделке, M_A= 200 Нм, если расстояние L = 1 м (рис.1.30)?



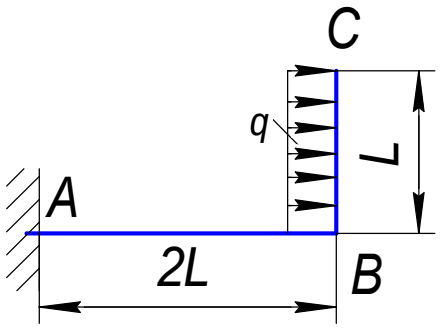
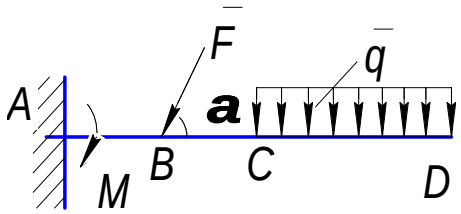


Рис.1.29 Рис.1.30

1.39. К балке AD приложена пара сил с моментом M = 200 Нм, распределенная нагрузка интенсивностью q = 20 Н/м и сила F (рис.1 31). Какова величина этой силы, если момент в заделке равен 650 Нм ? AB = BC = CD = 2 м.

1.40. Определить длину участка BC, при которой момент в заделке A равен 180 Нм, если размер AC = 2м и интенсивность распределенной нагрузки q = 30 Н/м (рис.1.32)



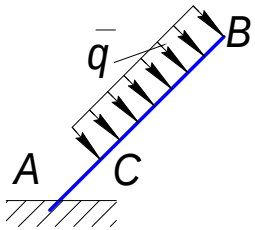


Рис.1.31 Рис.1.32

1.41. Определите координаты центра тяжести заштрихованной площади фигур на рис.1.33

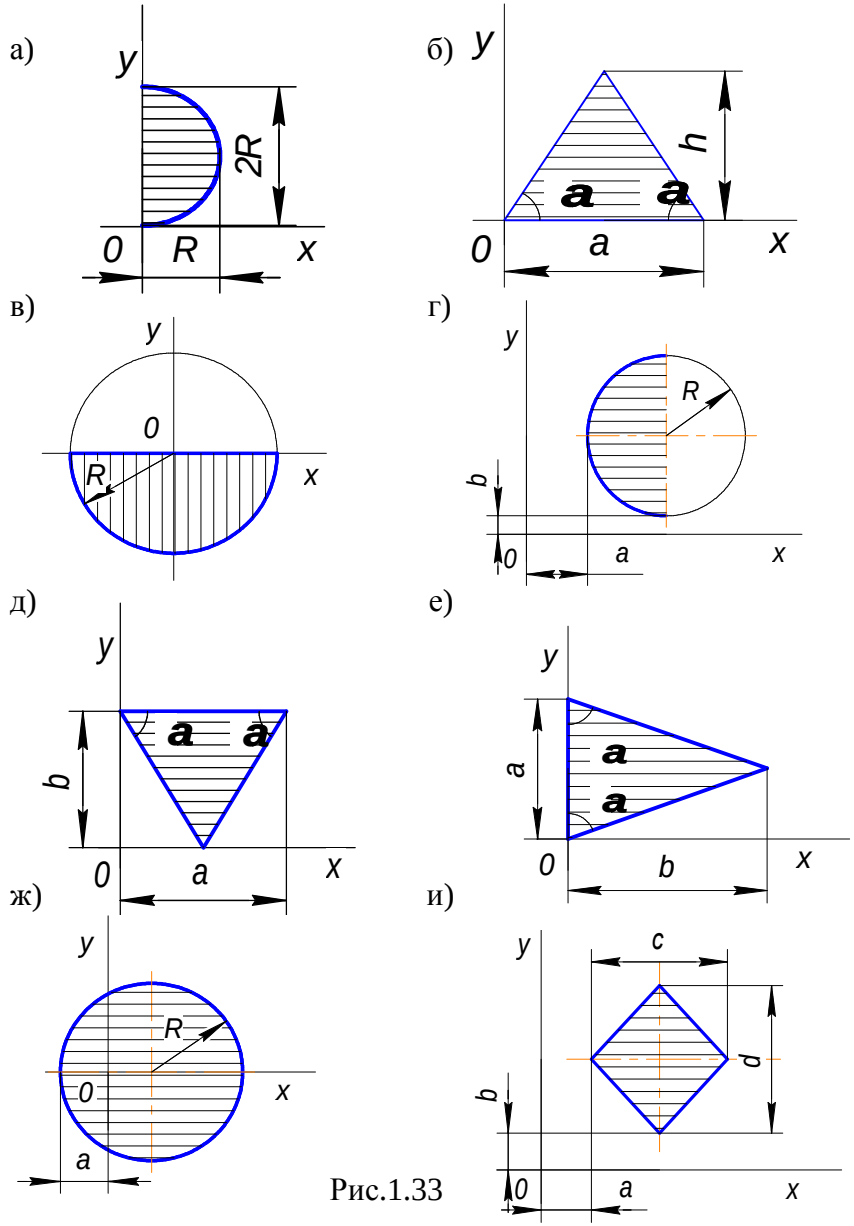


Рис.1.33

1.42. При каком расстоянии h от однородной пластины ABD до оси Ox координата y_C центра тяжести пластины равна 0,3 м, если BD = 0,3 м (рис.1.34)

1.43. Однородная пластина ABDE имеет вид ромба со стороной b = 0,2 м. Определить координату y_C центра тяжести ромба, если расстояние d от основания AE до оси Ox равно 0,1 м (рис.1.35)

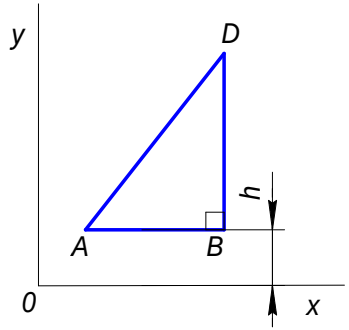


Рис.1.34

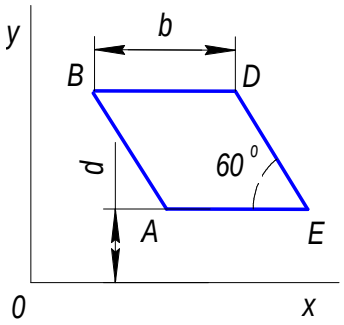


Рис.1.35

1.44. Определить координату x_C центра тяжести заштрихованной площади фигуры, если радиус r = 2 м (рис.1.36).

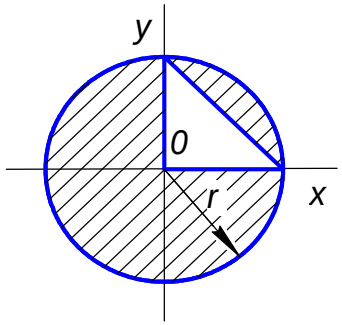


Рис.1.36

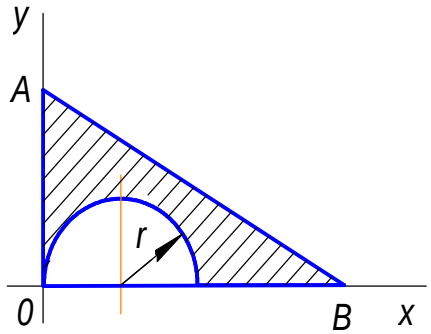


Рис. 1.37

1.45. Из однородной пластины в виде треугольника OAB с основанием OB = 60 см и высотой OA = 45 см вырезан полукруг радиуса r = 20 см. Определить в см координату x_C оставшейся части треугольника (рис.1.37)

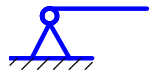
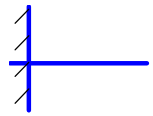
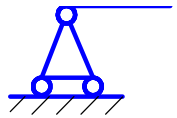
1.46. Укажите примеры механических систем *[множественный выбор]:*

1) группа летящих в воздухе самолетов;
2) солнечная система;
3) двигатель автомобиля;
4) группа движущихся машин

1.47. Что такое «связь»? [*простой выбор]*

1) это другое тело, соприкасающееся с рассматриваемым;
2) это другое тело, запрещающее некоторые движения рассматриваемого тела;
3) это другое тело, воздействующее на рассматриваемое тело;
4) это действие, уравновешивающее рассматриваемое тело

1.48. Укажите соответствие названий и изображений связей

Название	*Изображение*
1)жесткая заделка	1) 
2) шарнирно-подвижная опора	2) 
3) шарнирно-неподвижная опора	3) 

1.49. Когда можно заменить распределенную нагрузку q сосредоточенной силой Q? [*множественный выбор*]

1) в любом случае;
2) в случае определения равновесия тела;
3) в случае определения реакций связей;

1.50. Суть приведения системы сил к заданному центру (точке) состоит:*[простой выбор*]

1) в суммировании всех сил
2) в замене заданной системы сил равнодействующей
3) в переносе всех сил в заданную точку
4) в замене заданной системы сил главным вектором и главным моментом

1.51. Центр тяжести фигуры или тела — это точка …
[простой выбор]

1) скалярная;
2) инерциальная;
3) геометрическая

1.52. Выберите условия равновесия тела под действием произвольной плоской системы сил
[простой выбор]:

1) $\Sigma F_i = 0$;
2) $\Sigma F_{i\,x} = 0$; $\Sigma F_{I\,y} = 0$;
3) $\Sigma F_{ix} = 0$; $\Sigma F_{i\,y} = 0$; $\Sigma M_O (Fi) = 0$
4) $\Sigma F_{ix} = 0$; $\Sigma F_{i\,y} = 0$; $\Sigma M_{i\,y} = 0$

1.53. Какая система сил называется парой сил? *[простой выбор]*

1) система из двух равных между собой сил;
2) система из двух равных и параллельных сил;
3) система из двух равных, параллельных и противоположно направленных сил

Часть 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ (ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ)

Сопротивление материалов – наука о прочности, жесткости и устойчивости отдельных элементов конструкций (сооружений и машин).

Конструкция считается прочной, если размеры каждого ее элемента подобраны так, что способны воспринимать заданную нагрузку, не разрушаясь. Жесткость конструкции обеспечивается, если под действием заданной нагрузки деформации не превышают допускаемые пределы.

Конструкция считается устойчивой, если она сохраняет первоначальную форму упругого равновесия при действии внешних нагрузок.

Использование указанных методов расчета должно обеспечивать надежность работы конструкции и сочетаться с принципом экономичности ее изготовления и эксплуатации.

В сопротивлении материалов рассматриваются типичные элементы конструкций: брус, пластина, оболочка, массив. Внешние нагрузки, действующие на элементы сооружений, подразделяют на сосредоточенные и распределенные, статические и динамические. Все реальные силы — это силы, распределенные по некоторой площади или объему. Однако распределенную нагрузку на небольшой площади, размеры которой малы по сравнению с размерами всего элемента, можно заменить сосредоточенной равнодействующей силой, что упростит расчет.

Статически нагружают конструкции постепенно, и, будучи приложены к сооружению, они не меняются или меняются во времени незначительно. При воздействии статических нагрузок на конструкцию все ее части находятся в равновесии; ускорения элементов

конструкции отсутствуют или настолько малы, что ими можно пренебречь. Если же эти ускорения значительны, т.е. изменение скорости элементов машины происходит за сравнительно небольшой период времени, то мы имеем дело с приложением динамических нагрузок. Примерами таких нагрузок могут служить внезапно приложенные нагрузки, ударные и повторно-переменные. Действие таких нагрузок сопровождается возникновением колебаний конструкций. Вследствие изменения скорости колеблющихся масс возникают силы инерции, пропорциональные (согласно второму закону Ньютона) колеблющимся массам и ускорениям.

Методы расчета элементов конструкций излагаются на основе следующих упрощений и допущений:

- материал тела имеет сплошное (непрерывное) строение, т.е. принимается во внимание дискретная атомистическая структура вещества;
- материал тела однороден, т.е. обладает во всех точках одинаковыми свойствами;
- материал тела изотропен, т.е. обладает одинаковыми свойствами во всех направлениях;
- в теле до приложения нагрузки нет внутренних (начальных) усилий;
- результат воздействия на тело системы сил равен сумме результатов воздействия тех же сил, прилагаемых к телу последовательно и в любом порядке.

Инженеру любой специальности часто приходится производить расчеты на прочность. Неправильный расчет самой незначительной, на первый взгляд, детали может повлечь за собой очень тяжелые последствия — привести к разрушению конструкции в целом. При проведении расчетов на прочность необходимо стремиться к сочетанию

надежности работы конструкции с ее дешевизной, добиваться наибольшей прочности при наименьшем расходе материала.

ПРОГРАММА КУРСА

2.1. Основные положения. Деформируемое тело. Упругость и пластичность Основные задачи сопротивления материалов: предварительные понятия о расчетах на прочность, жесткость и устойчивость. Связь с общетехническими и специальными дисциплинами.

Классификация нагрузок: силы поверхностные и объемные; статические, динамические и переменные нагрузки .

Основные гипотезы и допущения. Принимаемые в сопромате о свойствах материалов (однородность, изотропность, непрерывность строения) и характере деформаций (принцип начальных размеров, линейная зависимость между нагрузками и вызываемыми ими перемещениями). Принцип независимости действия сил.

Геометрические схемы элементов конструкций: брус, оболочка, пластинка, массив.

Метод сечений. Применение метода сечений для определения внутренних силовых факторов, возникающих в поперечных сечениях бруса. Основные виды нагружений (деформированные состояния) бруса: растяжение—сжатие, срез (сдвиг), кручение, изгиб; внутренние силовые факторы в этих случаях.

Напряжение полное, нормальное, касательное. Первичное понятие о напряженном состоянии в точке тела.

2.2. Растяжение и сжатие. Продольные силы и их эпюры. Гипотезы плоских сечений. Нормальные

напряжения в поперечных сечениях бруса; эпюры нормальных напряжений.

Принцип Сен-Венана. Продольные и поперечные деформации при растяжении (сжатии). Закон Гука. Модуль продольной упругости. Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона). Жесткость сечения и жесткость бруса при растяжении и сжатии. Определение осевых перемещений поперечных сечений бруса. Работа внешних сил и потенциальная энергия деформации. Удельная потенциальная энергия.

Анализ напряженного состояния при одноосном растяжении (сжатии). Максимальные касательные напряжения.

Испытания материалов на растяжение и сжатие при статическом нагружении. Диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали и ее характерные параметры: пределы пропорциональности, упругости, текучести, прочности (временное сопротивление). Характеристики пластических свойств: относительное остаточное удлинение при разрыве, относительное поперечное сужение. Закон разгрузки и повторного нагружения (наклеп). Понятие об условном пределе текучести. Диаграмма растяжения хрупких материалов. Механические свойства пластичных и хрупких материалов при сжатии.

Коэффициент запаса прочности при статической нагрузке по пределу текучести и по пределу прочности. Основные факторы, влияющие на выбор требуемого коэффициента запаса прочности. Допускаемое напряжение.

Расчеты на прочность:

— проверочные (проверка прочности, определение допускаемой нагрузки);

— проектные (определение необходимых размеров поперечного сечения бруса; определение необходимого количества болтов или проволок в конструкциях,

работающих на растяжение; выбор материала для изготовления элементов конструкций; определение грузоподъемности).

2.3. Практические расчеты на срез и смятие. Срез, основные расчетные предпосылки, расчетные формулы. Смятие, условности расчета, расчетные формулы. Расчеты на срез и смятие болтовых, заклепочных, штифтовых и т. п. соединений .

2.4. Кручение. Чистый сдвиг. Закон парности касательных напряжений. Деформация сдвига. Закон Гука для сдвига. Модуль сдвига. Зависимость между тремя упругими постоянными для изотропного тела (без вывода).

Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения. Крутящий момент и построение эпюр крутящих моментов. Основные гипотезы. Напряжения в поперечном сечении бруса. Угол закручивания. Полярные моменты инерции и сопротивления для круга и кольца.

Характер разрушения при кручении брусьев из различных материалов. Расчеты на прочность и жесткость при кручении Сравнение прочности и жесткости при кручении валов сплошного и кольцевого поперечных сечений.

2.5. Геометрические характеристики плоских сечений. Статический момент сечения. Осевые, центробежные и полярный моменты инерции. Связь между осевыми и полярными моментами инерции. Связь между осевыми моментами инерции относительно параллельных осей. Главные оси и главные центральные моменты инерции. Осевые моменты инерции простейших сечений: прямоугольника, круга, кольца.

2.6. Изгиб. Основные понятия и определения; классификация видов изгиба: прямой изгиб (чистый и поперечный); косой изгиб (чистый и поперечный).

Внутренние силовые факторы при прямом изгибе — поперечная сила и изгибающий момент. Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

Зависимость между изгибающим моментом и кривизной оси бруса. Жесткость сечения при изгибе. Нормальные напряжения, возникающие в поперечных сечениях бруса при чистом изгибе. Распространение выводов чистого изгиба на поперечный изгиб. Расчет на прочность при изгибе. Осевые моменты сопротивления. Рациональные формы поперечных сечений балок из пластичных и хрупких материалов.

Понятие о касательных напряжениях в поперечных и продольных сечениях брусьев при прямом поперечном изгибе.

Понятие о линейных и угловых перемещениях при прямом изгибе. Определение линейных и угловых перемещений для различных случаев нагружения статически определимых балок на основе использования таблиц прогибов и углов поворота сечений для простейших схем нагружения и применения независимости действия сил. Расчеты на жесткость при изгибе.

2.7. Сложное сопротивление. Расчет на прочность стержня, подверженного деформациям изгиба, кручения и растяжения—сжатия. Условие прочности.

Расчет на прочность валов, подверженных одновременной деформации кручения и изгиба. Понятие местных напряжений.

2.8. Переменные напряжения. Понятие усталости. Причины понижения сопротивления усталости. Циклы напряжений и их характеристики. Предел выносливости.

Понятие о контактных напряжениях. Формула Беляева — Герца о вычислении максимальных контактных напряжений. Циклический характер контактных напряжений. Связь контактных напряжений с твердостью конструкционных материалов. Вычисление допускаемых контактных напряжений.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Степин П.А. Сопротивление материалов. - М.: Наука, 1997. - 367 с.(и др. годы издания)
2. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов.: учеб. для техн. вузов.- М.:Высш. шк., 1989.– 624 с.
3. Иоселевич Г.В. и др. Прикладная механика. – М.: Высш. шк., 1989. - 389 с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

К темам «Основные положения. Растяжение—сжатие»

1. Какие деформации называются упругими ?
2. Какие деформации называются остаточными (пластическими) ?
3. Что называется напряжением в точке в данном сечении?
4. Какое напряжение называется нормальным?
5. Какое напряжение называется касательным?
6. В чем заключается сущность метода сечений?
7. Что называется коэффициентом запаса прочности?
8. Как формулируется условие прочности?
9. Как строится диаграмма растяжения?
10. Что называется пределом пропорциональности?
11. Что называется пределом упругости?
12. Что называется пределом текучести?

13. Что называется пределом прочности?
14. Как формулируется закон Гука?
15. Что называется модулем упругости?
16. Что называется коэффициентом Пуассона?
17. Что называется истинным пределом прочности?
18. В чем заключается разница между пластичными и хрупкими материалами?
19. От каких факторов зависит значение запаса прочности?
20. Какие задачи называются статически неопределимыми?
21. Каков общий порядок решения статически неопределимых задач?
22. Как находятся напряжения при изменении температуры?
23. Как находится удлинение стержня, растягиваемого собственным весом?

К теме «Сдвиг и кручение»

1. Что называется абсолютным и относительным сдвигом?
2. Как формулируется закон Гука при сдвиге?
3. Какой модуль упругости больше: E или G?
4. Как находится условная площадь смятия заклепки?
5. По какому сечению в заклепочном состоянии производится проверка листов на разрыв?
6. Как рассчитываются стыковые, торцевые и фланговые швы?
7. Какие напряжения возникают в поперечном сечении круглого стержня при кручении?
8. Как находится их величина в произвольной точке поперечного сечения?
9. Возникают ли при кручении нормальные напряжения?

10. Чему равен полярный момент инерции круглого сечения? В каких единицах он выражается?
11. Чему равен момент сопротивления кольцевого сечения? Почему нельзя сказать, что он равен разности моментов сопротивления наружного и внутреннего кругов?
12. Как вычисляется момент, передаваемый шкивом, по мощности и числу оборотов?
13. Как находится величина угла закручивания?
14. Как производится расчет вала на прочность?
15. Как производится расчет вала на жесткость?

К теме «Изгиб»

1. По каким формулам находят координаты центра тяжести плоской фигуры?
2. Чему равна сумма осевых моментов инерции относительно двух взаимно перпендикулярных осей?
3. Какие оси называются главными?
4. Для каких фигур можно без вычислений установить положение главных центральных осей?
5. Относительно каких центральных осей осевые моменты инерции имеют наибольшее и наименьшее значения?
6. Какой из двух моментов инерции треугольника больше: относительно оси, проходящей через основание, или относительно оси, проходящей через вершину параллельно основанию?
7. Какой из двух моментов инерции квадратного сечения больше: относительно центральной оси, проходящей параллельно сторонам, или относительно оси, проходящей через диагональ?
8. Как находится изгибающий момент в каком-либо сечении балки?

9. В каком случае изгибающий момент считается положительным?
10. Как находится поперечная сила в каком-либо сечении балки?
11. Когда поперечная сила считается положительной?
12. Какая зависимость имеется между величинами M и F?
13. Как находится максимальный изгибающий момент?
14. Какой случай изгиба называется чистым изгибом?
15. По какой кривой изогнется балка в случае чистого изгиба?
16. Как изменяются нормальные напряжения по высоте балки?
17. Что называется нейтральным слоем и где он находится?
18. Что называется моментом сопротивления при изгибе?
19. Как выгоднее положить балку прямоугольного сечения при работе на изгиб: на ребро или плашмя?
20. Какое сечение имеет больший момент сопротивления при одинаковой площади: круглое или квадратное?
21. В каких плоскостях возникают касательные напряжения при изгибе, определяемые по формуле Журавского?
22. Как находится их величина?
23. Как находятся главные напряжения при изгибе?
24. Как пишется общее дифференциальное уравнение изогнутой оси балки?
25. Как находятся постоянные интегрирования?
26. Как определяют наибольшее числовое значение прогиба?

27. Какой случай изгиба называется косым изгибом?
28. Возможен ли косой изгиб при чистом изгибе?
29. В каких точках поперечного сечения возникают наибольшие напряжения при косом изгибе?
30. Как находится положение нейтральной линии при косом изгибе?
31. Как пройдет нейтральная линия, если плоскость действия сил совпадает с диагональной плоскостью балки прямоугольного поперечного сечения?
32. Как определяются деформации при косом изгибе?
33. Может ли балка круглого поперечного сечения испытывать косой изгиб?
34. Чему равно напряжение в центре тяжести поперечного сечения при внецентренном растяжении или сжатии?
35. Как находят напряжения в произвольной точке поперечного сечения при внецентренном растяжении или сжатии?
36. Какое положение занимает нейтральная линия, когда продольная сила приложена в вершине ядра сечения?
37. Какие напряжения возникают в поперечном сечении стержня при изгибе с кручением?
38. Как находятся опасные сечения стержня при изгибе с кручением?
39. В каких точках поперечного сечения возникают наибольшие напряжения при изгибе с кручением?
40. Как находится числовое значение расчетного момента при изгибе с кручением стержня круглого поперечного сечения?

ЗАДАНИЯ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

2.1. Медный стержень круглого поперечного сечения диаметром 14 мм и длиной 800 мм под действием растягивающих сил удлинился на 0,3 мм.
Определить:
1) величину силы F (для меди $E = 1{,}0 \cdot 10^5$ МПа);
2) на сколько удлинится такой стержень, если медь заменить на сталь?
(для стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа)

2.2. Чугунная колонна кольцевого поперечного сечения имеет наружный диаметр 30 см и нагружена силой 200 тонн. Определить необходимую толщину стенки при допускаемом напряжении на сжатие, равном 80 МПа.

2.3. Рабочее давление в цилиндре паровой машины q = 10ат = 1Н/мм^2 (превышение над наружным), внутренний диаметр цилиндра D = 350 мм.
Сколько болтов диаметром d = 18 мм необходимо, чтобы прикрепить крышку к телу цилиндра, если допускаемое напряжение для материала болтов $[\sigma_б]$ = 40 МПа (рис.2.1)

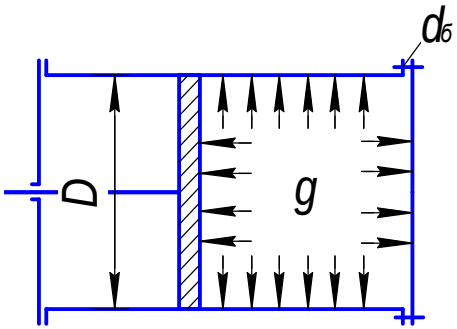


Рис.2.1

2.4. Сосновая стойка сечением (20×20) см^2 опирается на дубовую подушку, как указано на рисунке. Допускаемое напряжение на смятие для сосны вдоль волокон $[\sigma_{II}]$ = 10 МПа, а для дуба поперек волокон $[\sigma_{\perp}]$ = 3 МПа. Определить предельную нагрузку на стойку (рис. 2.2).

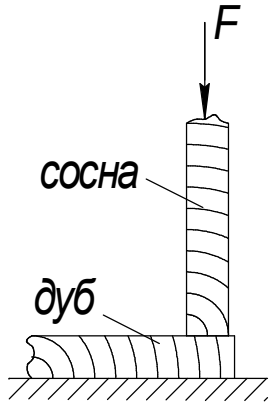


Рис.2.2

2.5. Какую наибольшую нагрузку может выдержать деревянный столб сечением (160×160) мм^2 при сжимающем напряжении не более 10 МПа?
На сколько уменьшится такой столб высотой 3 м под нагрузкой 10 тонн? ($E_{дерева} = 1 \cdot 10^4$ МПа)

2.6. Две проволоки, одна стальная, другая алюминиевая, имеют одинаковую длину и нагружены одинаковыми осевыми растягивающими усилиями. Стальная проволока имеет диаметр 2 мм. Чему равен диаметр алюминиевой проволоки, если обе проволоки удлиняются на одинаковую величину?

2.7. Для заданного стального бруса определить требуемую площадь поперечного сечения, если [σ] = 160 МПа. Сохранить конструктивную форму бруса (рис.2.3.).

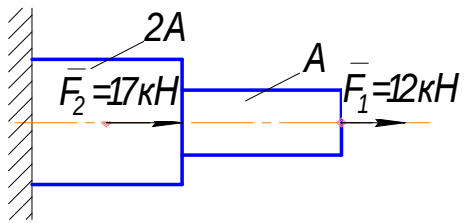


Рис.2.3

2.8. На рисунке 2.4. представлен стержень, верхняя часть которого стальная, а нижняя – чугунная. Осевая нагрузка P укорачивает весь стержень на 0,2 мм. Определить величину нагрузки P.

$E_{сталь} = 2\cdot10^5$ МПа, $E_{чугун} = 1{,}2\cdot10^5$ МПа.

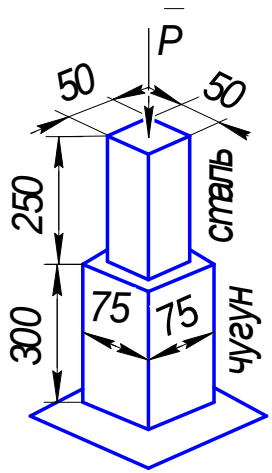


Рис.2.4

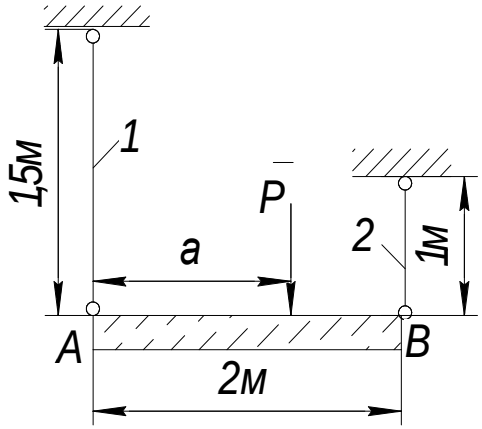


Рис.2.5

2.9. Жесткий брус AB, деформацией которого можно пренебречь, горизонтально подвешен на тросах 1 и 2. Трос 1 – стальной, круглого сечения, диаметром 20 мм, трос 2 – медный, тоже круглого сечения, диаметром 25 мм. На каком расстоянии **a** от угла A нужно поместить груз P, чтобы и после деформации брус AB остался горизонтальным? Чему в этом случае будут равны напряжения в тросах, если P = 30 кН? (рис.2.5)

2.10. Стальной стержень прямоугольного сечения (b = 15мм, h = 30мм) под действием растягивающих сил F = 72 кН удлинился на 7,2 мм. Определить:

1) первоначальную длину стержня.

2) предельную нагрузку, которую может выдержать этот стержень, если $[\sigma_p]$ = 200 Н/мм^2.

2.11. Для бруса на рис.2.6 определить необходимую площадь сечения A из условия прочности при [σ] = 160МПа. Сохранить конструктивную форму бруса.

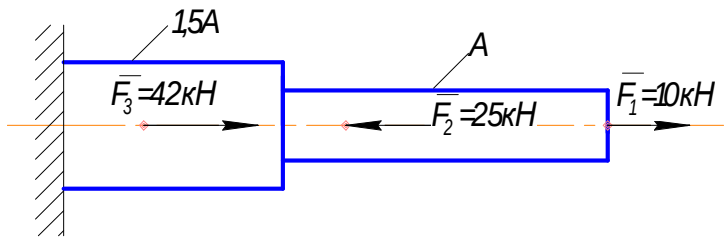


Рис.2.6

2.12. Жесткая балка АВ, деформацией которой пренебрегаем, опирается на стойки и нагружена, как указано на рис. 2.7 Стойка А – стальная, сечением 10см^2, стойка В – деревянная, сечением 100см^2, стержень С – медный, сечением 30см^2. Определить опускание точки подвеса груза.

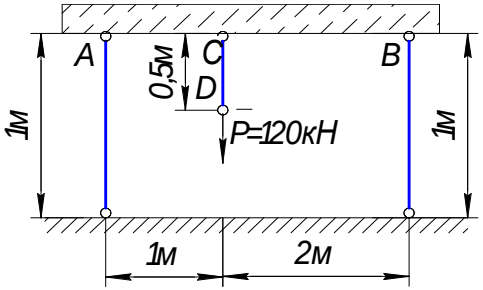


Рис.2.7

2.13. Между неподвижными точками А и В горизонтально натянута стальная проволока диаметром 1мм (рис.2.8). Какую необходимо приложить силу Р в точке С посредине длины проволоки и какое в этом случае возникает напряжение в ней, если смещение точки С по направлению силы Р достигает 4,5 см? Собственным весом проволоки пренебречь.

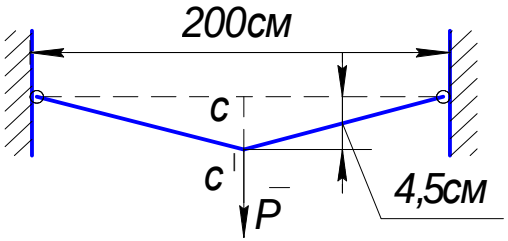


Рис.2.8

2.14. Медная проволока диаметром d = 1,2 мм удлиняется на 0,25 мм под нагрузкой Р = 9 кг = 90 Н. Определить:

1) длину проволоки;
2) сколько таких проволок надо соединить в трос, чтобы он под нагрузкой F = 20 кг удлинился не более чем на 0,1 мм.

2.15. К нижнему концу троса, закрепленного верхним концом, подвешен груз Р = 5 тонн. Трос составлен из проволок диаметром d = 2,4 мм. Допускаемое напряжение для материала троса $[\sigma_p]$ = 350 МПа. Определить:

1) из какого количества проволок должен быть составлен трос?

2) надо ли менять диаметр проволок в тросе, если при той же нагрузке и длине $l_н$ = 3 м его удлинение допускается не более 5,5 мм?

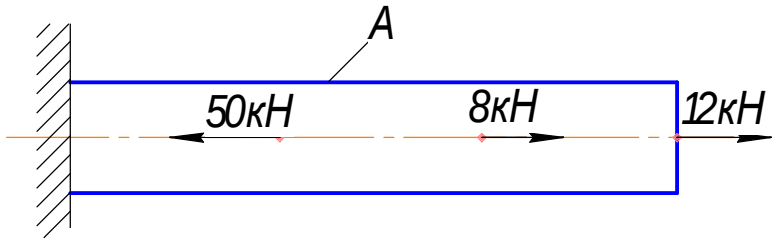
2.16. Груз подвешен к стальной проволоке, размеры которой до деформации были следующие: l = 3 м, d = 1,6 мм. Удлинение проволоки оказалось Δl = 1,5 мм. Затем тот же груз был подвешен к медной проволоке длиной l_1 = 1,8 м и диаметром d_1 = 3,2 мм. Ее удлинение получилось равным Δl_1 = 0,39 мм. Определить модуль упругости медной проволоки, если модуль стальной E = $2 \cdot 10^5$МПа.

2.17. К тросу диаметром d = 10 мм подвешена клеть шахтного подъемника весом Р = 100 кг = 1 кН. Длина троса, нагруженного лишь весом самой клети, равна l = 100 м; его длина, когда клеть загружена еще 400 кг руды, на 3 см больше. Определить модуль упругости троса.

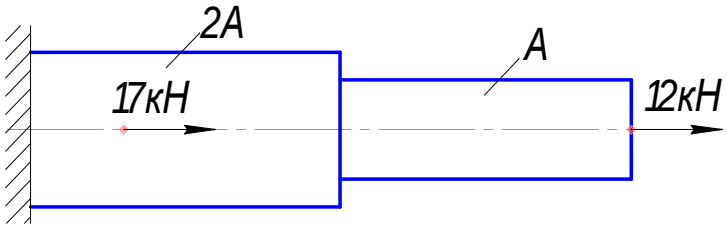
2.18 На стальном стержне диаметром d = 2,5 см были нанесены две риски на взаимном расстоянии в 25 см. Когда стержень был растянут усилием в 100 кН, расстояние между рисками стало 25,027 см. Каково будет расстояние между рисками, если:
а) растягивающее усилие будет равно 5 т;
б) растягивающее напряжение будет равно 80 МПа. Чему равен модуль упругости материала?

2.19. Для заданных стальных брусов определить требуемую площадь поперечного сечения, если [σ] = 160 МПа.
Сохранить конструктивную форму брусов (рис.2.9)

а)



б)



в)

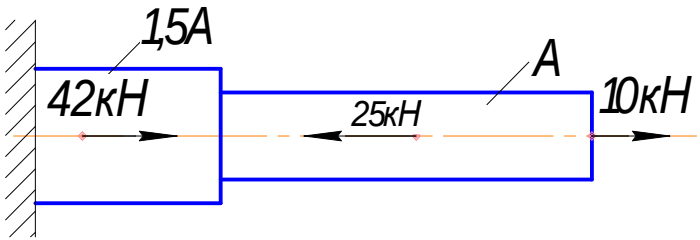


Рис. 2.9

2.20. Между неподвижными точками А и В горизонтально натянута проволока диаметром d = 1 мм (рис 2.10). К точке С посредине длины проволоки подвешивается постепенно увеличивающаяся нагрузка Р. Когда удлинение проволоки достигло 0,5 %, она порвалась. Чему в этот момент равен груз Р, какова величина опускания точки С и какой величины напряжение в проволоке в момент разрыва? Собственным весом проволоки пренебречь. Считать, что проволока наклепана и до момента разрыва она имеет лишь упругие деформации.

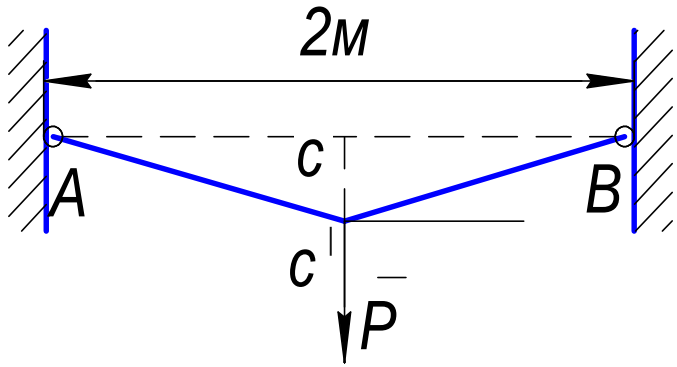


Рис.2.10

2.21. Определить размеры медного стержня квадратного сечения длиной 9 м, который под действием растягивающей силы F = 600 Н удлинится не более, чем на 0,3 мм. ($E_{медь} = 1 \cdot 10^5$МПа)

2.22. Определить минимальный диаметр медного стержня круглого сечения длиной 9 м, который под действием растягивающей силы F = 600 Н удлинится не более, чем на 0,3 мм.

2.23. На стальной проволоке укреплен светильник весом P = 400 Н. Подобрать диаметр проволоки из условия, чтобы напряжения в ней не превышали 120 МПа, и определить вертикальное перемещение светильника после его установки (рис.2.11).

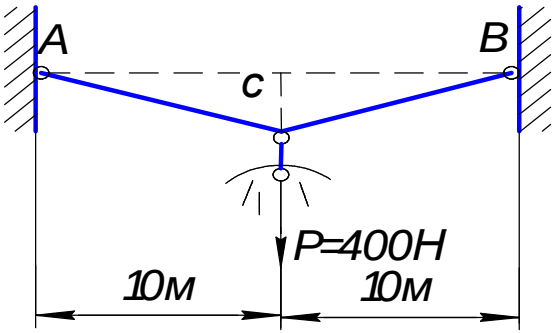


Рис.2.11

2.24. Груз P подвешен на двух стержнях, как показано на рис. 2.12. Угол = 30 град. Стержень AC – стальной, круглого поперечного сечения, диаметром 30 мм, с допускаемым напряжением для материала [σ] = 160 МПа. Стержень CB – алюминиевый, диаметром 40 мм и с [σ] = 60 МПа. Какой наибольший груз P можно подвесить на этих стержнях?

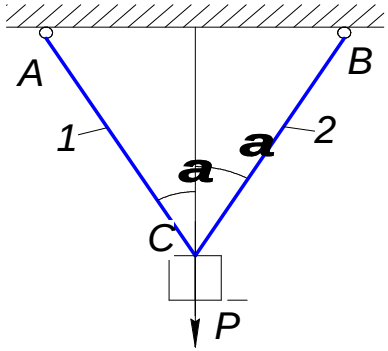


Рис.2.12

2.25. Стальная колонна кольцевого поперечного сечения имеет наружный диаметр D = 50 мм и нагружена силой 700 тонн. Определить необходимую толщину стенки при допускаемом напряжении на сжатие, равном 150 МПа

2.26. Стальной стержень круглого сечения растягивается усилием P = 10 тонн. Относительное удлинение не должно превышать 1/2000 , а напряжение не должно быть больше 120 МПа. Найти наименьший диаметр стержня, удовлетворяющий этим условиям.

2.27. Для скручиваемого стального стержня сплошного круглого сечения, изображенного на рис. 2.13, определить необходимый диаметр из условия прочности, если известно, что T_1 = 100 Нм, T_2 = 200 Нм, T_3 = 500 Нм, [τ] = 30 МПа.

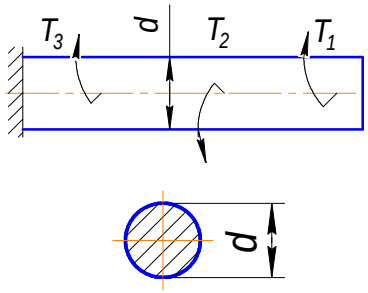


Рис.2.13

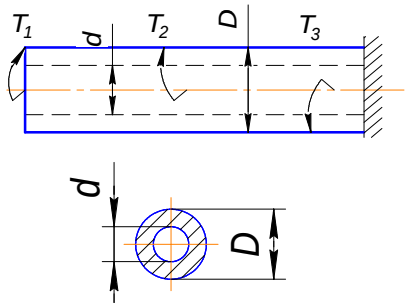


Рис.2.14

2.28. Для скручиваемого стального стержня кольцевого сечения, изображенного на рис. 2.14, определить необходимые внешний D и внутренний d диаметры из условия прочности, если известно, что T_1 = 1,3 кНм, T_2 = 1,2 кНм, T_3 = 1,1 кНм, [τ] = 40 МПа, отношение c = d / D = 0,75.

2.29. Стальной стержень прямоугольного поперечного сечения (10 х 15) см, длиной 1,5 м нагружен крутящим моментом Т = 20 кНм. Найти касательные напряжения, возникающие у поверхности посередине сторон сечения, и полный угол закручивания.

2.30. Определить, какую мощность может передать сплошной вал круглого поперечного сечения диаметром 60 мм при частоте вращения вала n = 50 об/мин; допускаемое касательное напряжение для материала вала [τ] = 30 МПа

2.31. Для стального стержня сплошного круглого сечения (рис. 2.15), вращающегося в подшипниках, определить значение неизвестного внешнего скручивающего момента T_4 , построить эпюру внутренних скручивающих моментов и определить диаметр из условия прочности, если T_1 = 2,6 кНм, T_2 = 3 кНм, T_3 = 2,6 кНм, [τ] =30 МПа.

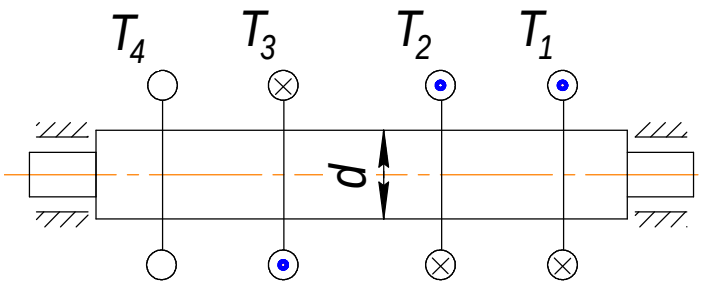


Рис.2.15

2.32. Полый стальной вал длиной 5 м имеет соотношение диаметров c = d / D = 0,8. Частота вращения вала n = 180 об/мин, мощность двигателя N = 8 кВт. Определить внешний диаметр вала, если наиболее касательное напряжение не должно превышать [τ] = 80 МПа

2.33. Для стального стержня сплошного круглого сечения, вращающегося в подшипниках (рис.2 16), построить эпюру внутренних скручивающих моментов, определить диаметр из условия прочности, построить эпюру углов поворота сечений; принять T_1 = 3,1 кНм, T_2 = 1,1 кНм, T_3 = 2,0 кНм, а = 0,1 м; [τ] =40 МПа.. Принять за неподвижное сечение, в котором приложен внешний момент T_2.

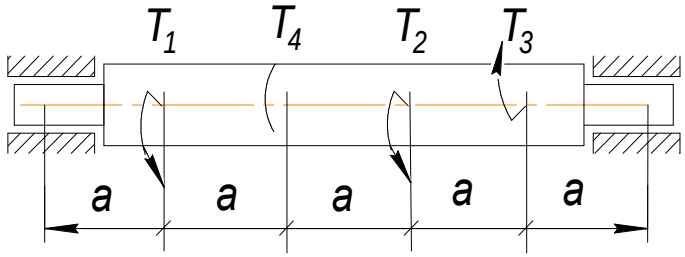


Рис.2.16

2.34. Какой стержень выгоднее для работы на кручение — квадратного или прямоугольного сечения — при прочих равных условиях, если соотношение сторон в прямоугольнике равно 0,5?

2.35. Определить размеры вала квадратного поперечного сечения, передающего мощность 73,55 кВт при частоте вращения 120 об/мин, если [τ] = 45 МПа.

2.36. Две прокатные двутавровые балки № 20а расположены рядом и поддерживают стену постоянной высоты. Они заменяются одной двутавровой балкой. Какой номер балки следует взять?

2.37. Чугунная труба с наружным диаметром 250 мм и толщиной стенки 10 мм лежит на двух опорах, расположенных на взаимном расстоянии 12 м, и наполнена водой. Каковы наибольшие нормальные напряжения в трубе, если удельный вес чугуна 7,8?

2.38. В каком случае учитывают деформацию тел? *[простой выбор]*

1) при исследовании равновесия тел;
2) при расчете на прочность;
3) при кинематическом расчете;
4) при тепловом расчете

2.39. Укажите правильную последовательность действий при построении эпюр продольных сил

1) построить эпюру;
2) изобразить расчетную схему;
3) разбить брус на участки;
4) определить для каждого участка величину продольной силы

2.40. Что такое напряжение? *[простой выбор]*

1) интенсивность распределения внутренних сил по длине тела;
2) интенсивность распределения внутренних сил по сечению тела;
3) единица измерения прочности тела

2.41. Укажите характерные предельные значения напряжений при растяжении *[множественный выбор]:*

1) предел упругости;
2)предел прочности;
3) предел растекания;
4) предел пропорциональности;
5) предел текучести;
6) предел растягиваемости

2.42. Как определяется полярный момент инерции представленной на рис.2.17 фигуры [*простой выбор*]:

1) $W_P = (\pi D^3/16)$
2) $W_X = (\pi D^3/32)$
3) $I_X = (\pi D^4/32)$
4) $I_P = (\pi D^4/64)$

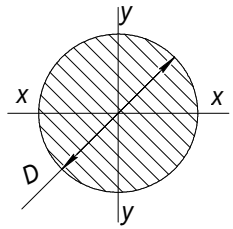


Рис.2.17

2.43. Под внутренними силами в сопромате понимают [*простой выбор*]:

1) силы, действующие между элементами данной конструкции;
2) силы, действующие между частицами на поверхности контакта соприкасающихся тел;
3) силы взаимодействия между частицами тела;
4) силы взаимодействия между частицами тела, возникающие при деформации тела

2.44. Укажите, какая часть диаграммы растяжения углеродистой стали (рис.2.18) подчиняется закону Гука *[простой выбор]*

1) 0—1
2) 1—2
3) 2—3
4) 3—4

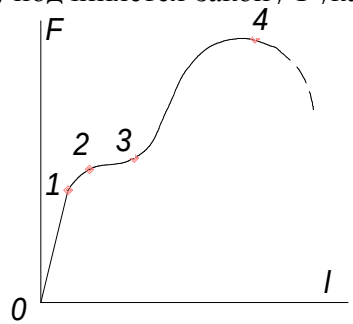


Рис.2.18

2.45.Условие прочности при различных деформациях ***[****Поставьте у ответов номера соответствующих посылок****]***

Посылка

1) центральное растяжение-сжатие;
2) кручение
3) прямой простой изгиб
4) срез.

Ответ

1) $\tau = (F/A) \leq [\tau]$
2) $\sigma = (N / A) \leq [\sigma]$
3) $\tau = (M_{КР} / W_p) \leq [\tau]$
4) $\sigma = (M_И / w_X) \leq [\sigma]$

2.46. Предел прочности — это [*простой выбор]:*

1) максимальная нагрузка, которую выдержит образец до разрушения;
2) максимальное напряжение, начиная с которого наблюдается остаточная деформация;
3) максимальное напряжение, которое выдерживает образец, не разрушаясь;
4) максимальное напряжение, до которого сохраняется свойство упругости

2.47. Свойство упругости материалов заключается [*простой выбор*]:

1) в наличии остаточных деформаций после снятия нагрузки;
2) в изменении формы и размеров пропорционально нагрузке;
3) в изменении размеров при постоянной нагрузке;
4) в исчезновении деформации после снятия нагрузки

2.48. Что понимается под центральным растяжением-сжатием? *[простой выбор]*

1) вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникают только поперечные силы, а все прочие внутренние силовые факторы равны нулю;
2) вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникают только крутящий или изгибающий моменты, а все прочие внутренние силовые факторы равны нулю;
3) вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникают только нормальные силы, а все прочие внутренние силовые факторы равны нулю
4) вид нагружения, при котором в поперечных сечениях возникают только изгибающие моменты

2.49. Пользуясь методом сечений, укажите, где правильно определены внутренние силовые факторы для сечения (1-1) рис. 2.19 [*простой выбор*]:

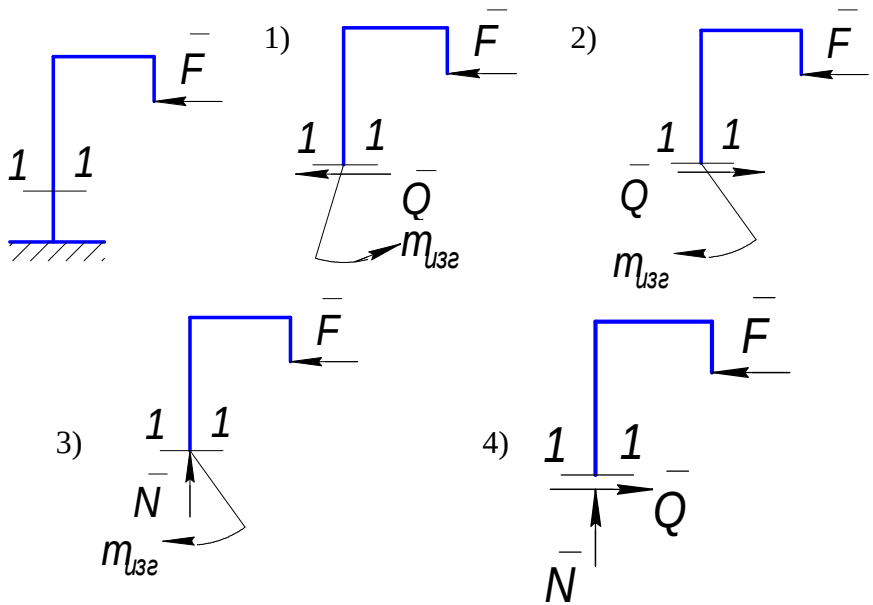


Рис.2.19

2.50. Укажите способ крепления стержня, обеспечивающий наибольшую его устойчивость (рис. 2.20) [*простой выбор*]

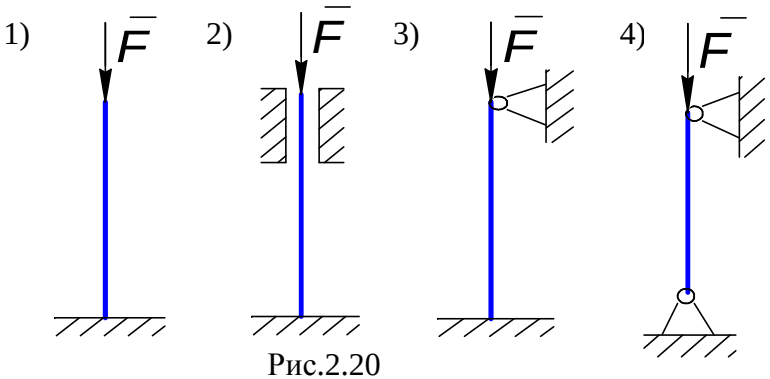


Рис.2.20

2.51. При испытании на сжатие (рис. 2.21) получено значение предела упругости, которое зависит от…*[множественный выбор]*

1) величины силы F;
2) материала образца;
2) длины образца L;
3) площади сечения A

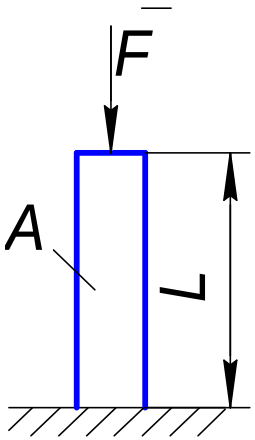


Рис.2.21

2.51. На участке BC плоской рамы (рис.2.22) в опасном сечении возникают внутренние силовые факторы [*простой выбор*]

1) изгибающий момент и поперечная сила;
2) нормальная сила;
3) изгибающий момент;
4) изгибающий момент и нормальная сила

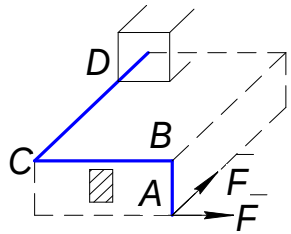


Рис.2.22

2.53. На участке AB балки (рис. 2.23) имеет место [*простой выбор*]

1) чистый сдвиг;
2) продольный изгиб;
3) продольно-поперечный изгиб;
4) поперечный изгиб

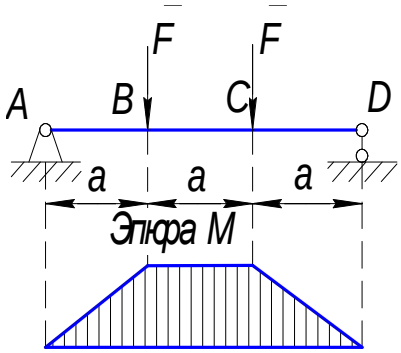


Рис.2.23

2.54. Изменение длины ступенчатого бруса (E – модуль Юнга) равно [*простой выбор*] (рис. 2.24):

1) 0;
2) 3PL / EA;
3) 6PL / EA;
4) (3PL / A)–(3PL / 2A)

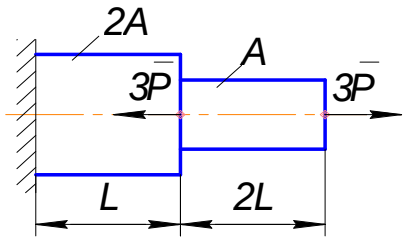


Рис.2.24

2.55. Максимальный изгибающий момент в балке (рис.2.25) равен [*простой выбор*]:

1) 1/2 FL;
2) FL;
3) 1/3 FL;
4) 1/4 FL

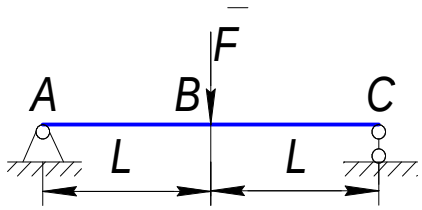


Рис.2.25

2.56. Разрушение деревянного образца (рис.2.26) при кручении происходит от действия [*простой выбор*]:

1) касательных напряжений в продольном сечении;
2) сжимающих нормальных напряжений;
3) касательных напряжений в поперечном сечении;
4) растягивающих нормальных напряжений

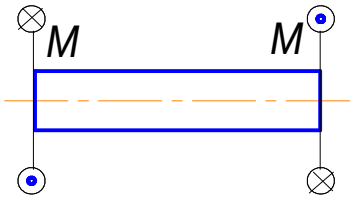


Рис.2.26

2.57. Продольная сила в сечении С бруса равна *[простой выбор]:*

1) 4F;
2) 2F;
3) 2F/ A;
4) F

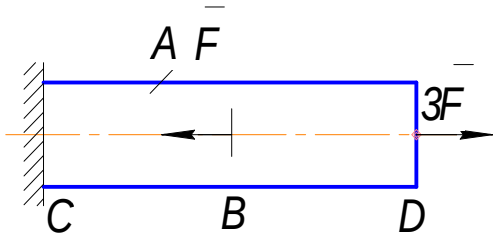


Рис.2.27

2.58. Эпюра нормальных напряжений для бруса на рис.2.28 изображена на схеме [*простой выбор*]…

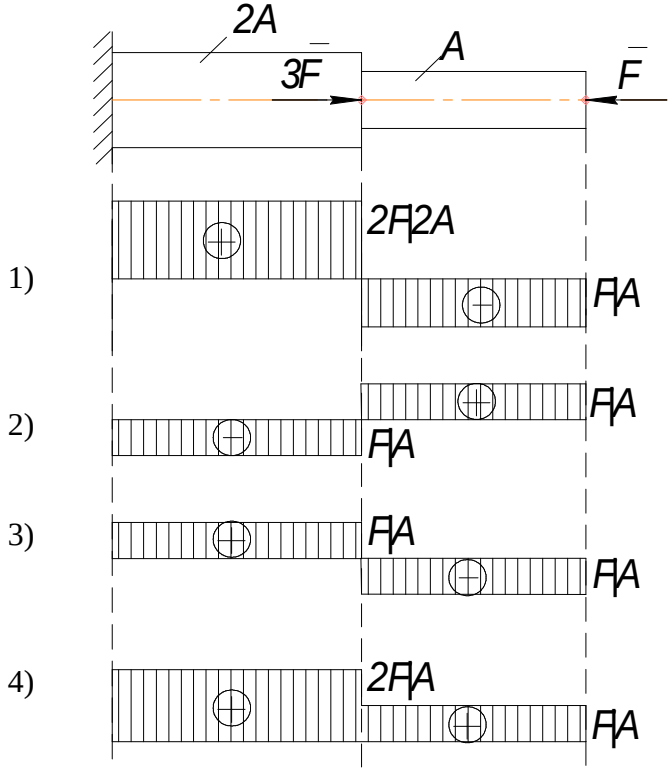


Рис.2.28

2.59. При испытании образца на растяжение (рис.2.29.) получено значение модуля упругости, которое зависит от…[*простой выбор*]…

1) площади сечения А;
2) величины силы F;
3) материала образца;
4) длины образца L

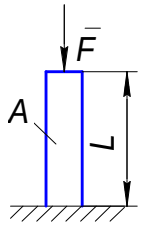


Рис.2.29

2.60. Эпюра нормальных напряжений для бруса на рис.2.30 изображена на схеме [*простой выбор*]…

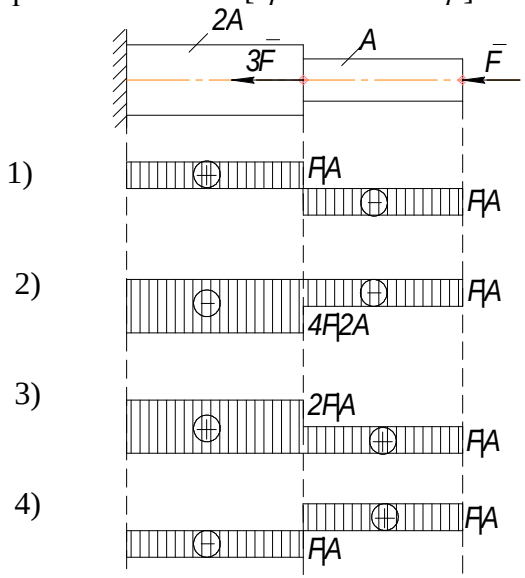
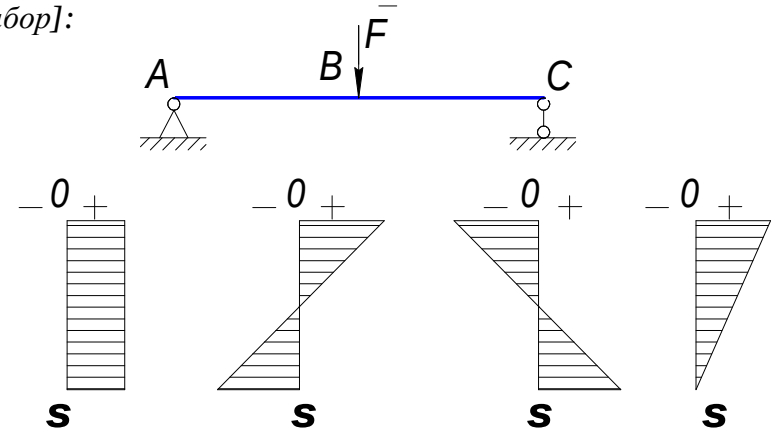


Рис. 2.30

2.61. Распределение нормальных напряжений в опасном сечении балки показано на эпюре… *[простой выбор]:*



1) 2) 3) 4)

Рис.2.31

2.62. Отметьте геометрические характеристики круглого сечения с диаметром D теми же цифрами, что и соответствующие им формулы:

Посылка:

1) осевой момент инерции I_X;
2) полярный момент инерции I_P;
3) осевой момент сопротивления W_X;
4) полярный момент сопротивления W_P

Ответ:

1) $\pi D^3/32$;
2) $\pi D^4/32$
3) $\pi D^4/64$;
4) $\pi D^3/16$;

2.63. Максимальный изгибающий момент в балке на рис.2.32 равен *[простой выбор]:*

1) 2FL;
2) 3FL;
3) FL;
4) 2,5FL

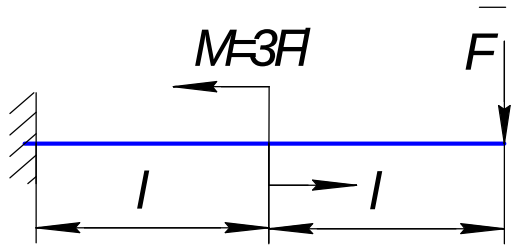


Рис.2.32

2.64. При изображенном на рис.2.33 виде нагружения стержень испытывает… *[простой выбор]*

1) косой изгиб;
2) изгиб и сжатие;
3) прямой изгиб;
4) внецентренное сжатие;
5) продольный изгиб

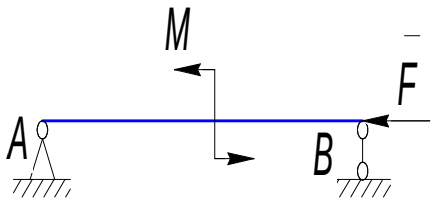


Рис.2.33

2.65. Эпюра изменения углов поворота сечений вала **a = M ·L/G· I$_P$** рис. 2.34 показана на схеме… *[простой выбор]*

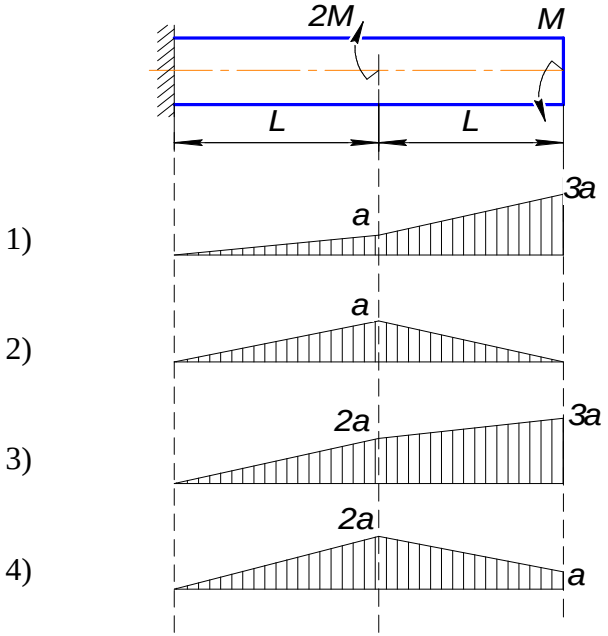


Рис.2.34

2.66. Построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил для балки, показанной на рис.2.35. Найти диаметр круглого поперечного сечения балки при [σ] = 110 МПа

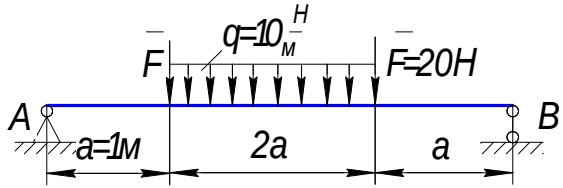


Рис.2.35

2.67. Эпюра изгибающих моментов для балки на рис.2.36 показана на схеме… [*простой выбор]*

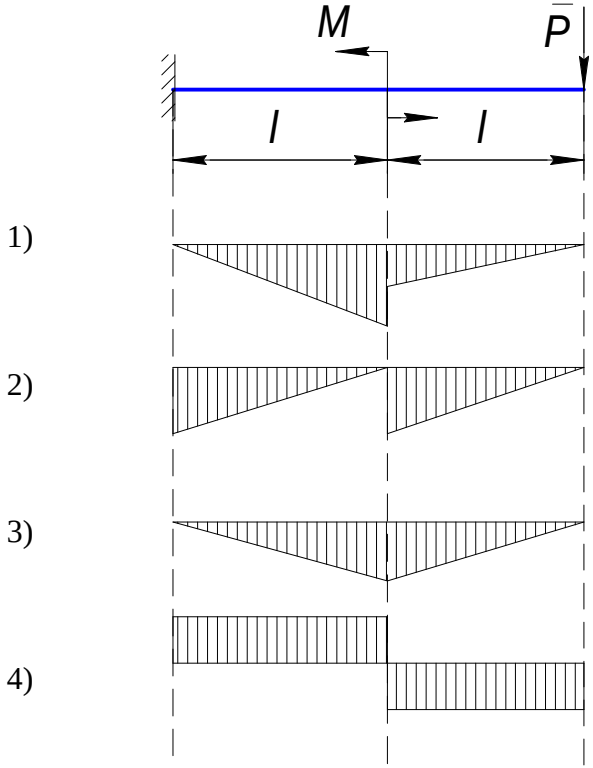


Рис.2.36

2.68. Эпюра изменения углов поворота сечений вала **a = M ·L/G· I_P** рис. 2.37 показана на схеме… *[простой выбор]*

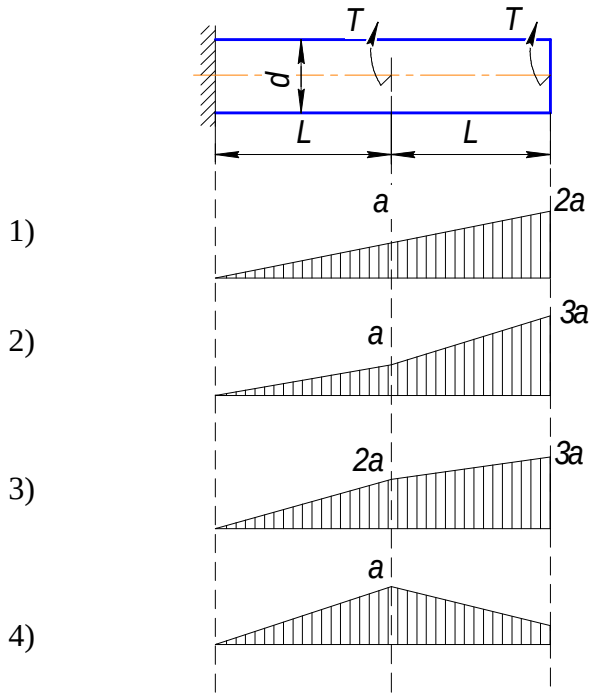


Рис.2.37

2.69. Максимальное касательное напряжение для скручиваемого стержня на рис.2.38. равно……*[простой выбор]*

1) $\tau = 3M/ W_p$;
2) $\tau = 9M/ W_p$;
3)$\tau = 6M/ W_p$;
4) $\tau = 2M/ W_p$;

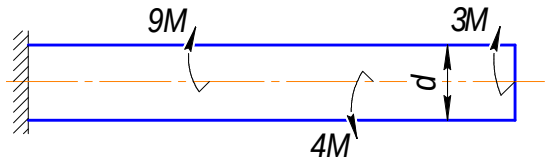


Рис.2.38

2.70. Эпюра внутренних изгибающих моментов рис. 2.39 изображена на схеме… [*простой выбор*]…

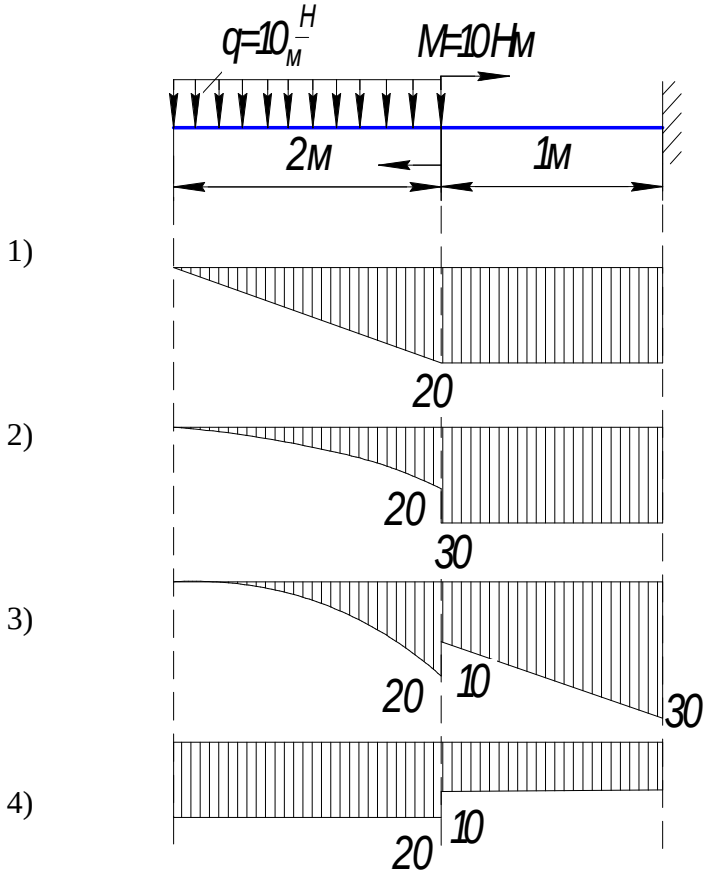


Рис.2.39

2.71. Эпюра внутренних поперечных сил рис 2.40 изображена на схеме… [простой выбор]

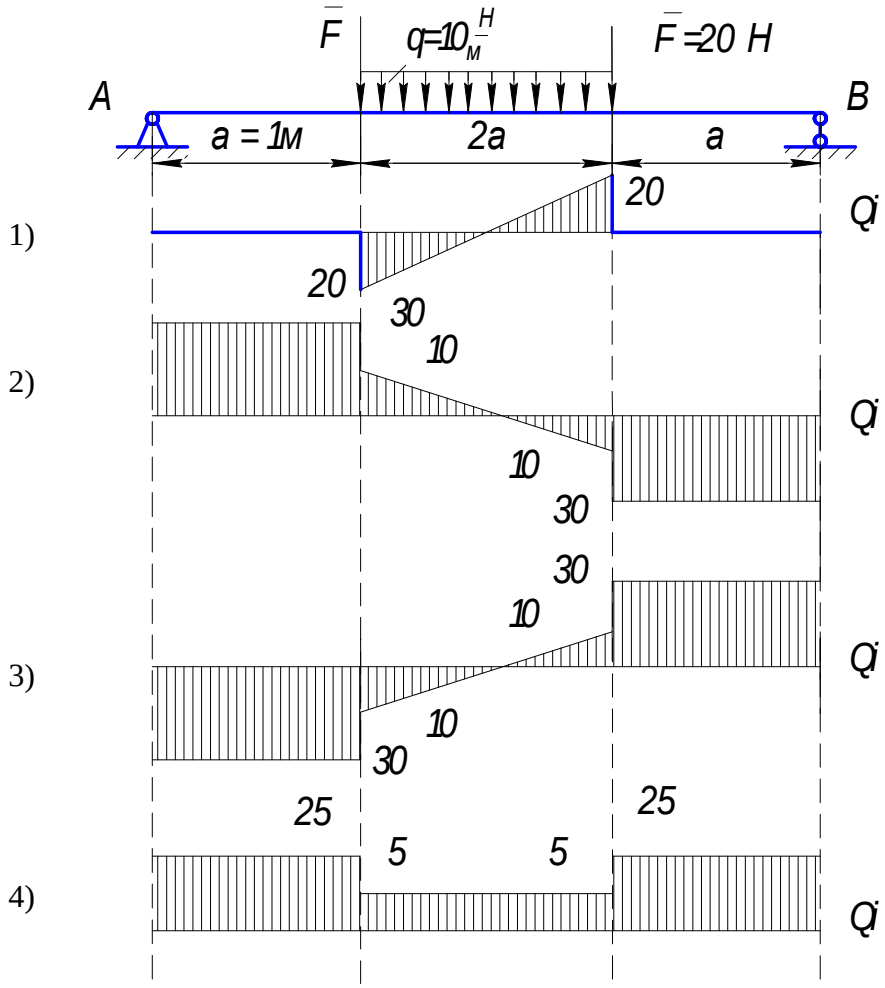


Рис. 2.40

2.72. Эпюра изгибающих моментов рис 2.41 показана на схеме… [простой выбор]

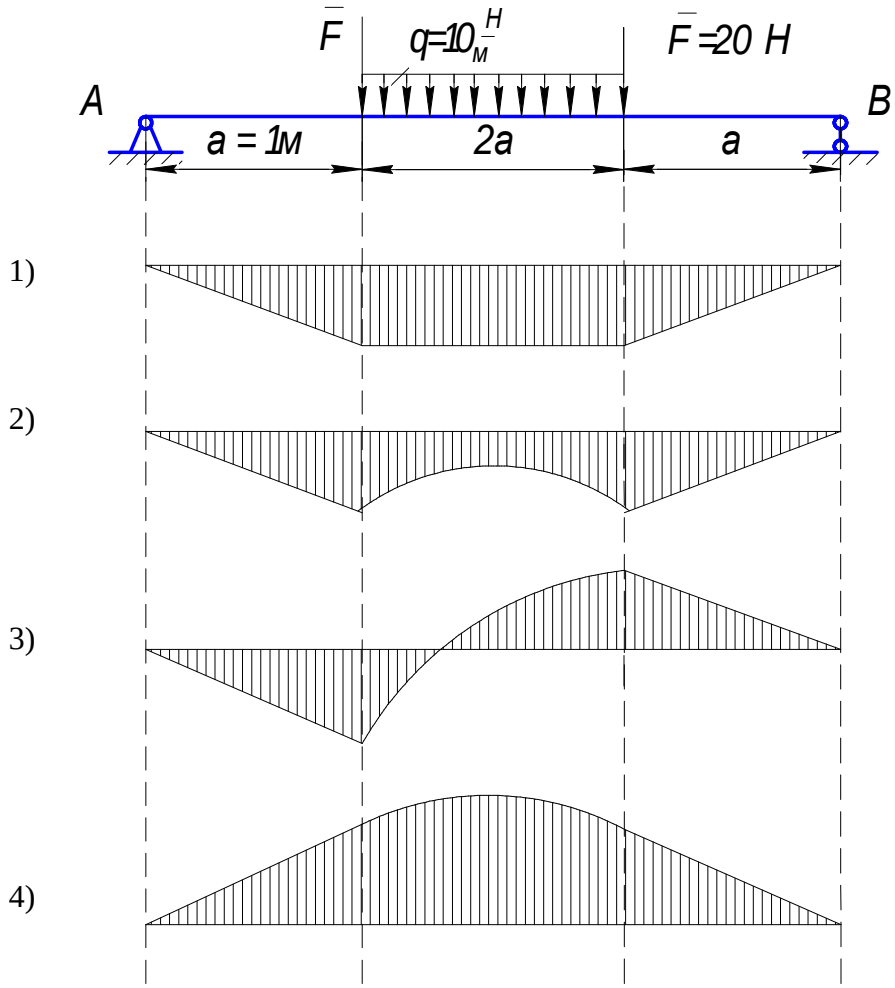


Рис. 2.41

2.73. Эпюра нормальных напряжений для бруса рис. 2.42 изображена на схеме… [*простой выбор*]…

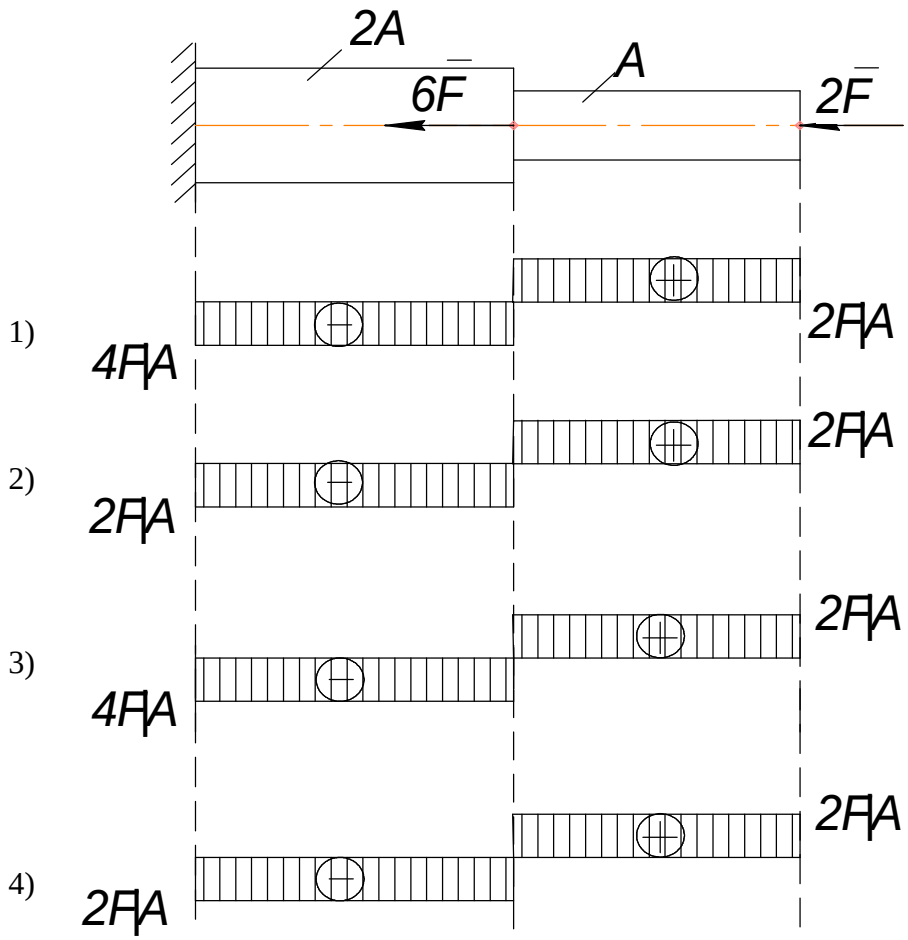


Рис. 2.42

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Определить положение центра тяжести круглой пластины радиуса R = 12 см с вырезом радиусом r = 6 см (рис.2.40)

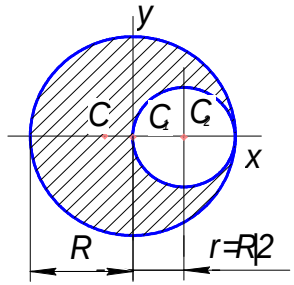


Рис.2.40

Решение. Принимаем за ось x - ось симметрии заштрихованной фигуры, ось y – центр большого круга. Центр тяжести заштрихованной фигуры лежит на оси x, значит $\mathbf{Y_C = 0}$.

Площадь большого круга $\mathbf{A_1 = \pi R^2 = 4\pi r^2}$, координата центра тяжести $\mathbf{x_1 = 0}$ (точка C_1).

Площадь малого круга $\mathbf{A_2 = \pi r^2}$, координата центра тяжести $\mathbf{x_2 = r}$ (точка C_2).

Площадь заштрихованной фигуры

$$\mathbf{A_1 - A_2 = 4\pi r^2 - \pi r^2 = 3\pi r^2}$$

Тогда координата центра тяжести

$$\mathbf{X_C = (S_{1y} - S_{2y})/ (A_1 - A_2) =}$$

$$\mathbf{= (4\pi r^2 \cdot 0 - \pi r^2 \cdot r)/ 3\pi r^2 = - r/3 = - R/6 = 2\ см}$$

Отмечаем центр тяжести фигуры – т. C (левее т. C_1)

Пример 2. Поршень цилиндра паровой машины имеет диаметр D = 400 мм (рис.2.41), а шток поршня – диаметр d = 56 мм. Давление пара 10 ат. Длина штока L = 750 мм, материал штока – сталь. Найти наибольшее напряжение в штоке и соответствующее изменение его длины во время одного хода машины.

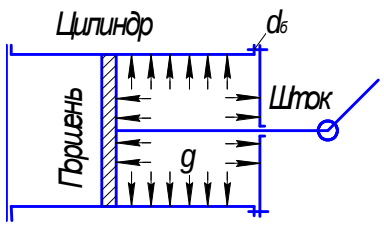


Рис. 2.41

Решение. Давление пара в цилиндре – это распределенная поверхностная нагрузка, которая в данном случае равна **q = 1 Н/мм^2.**

Эта нагрузка распределена на площадь поршня, которая составляет

$A = \pi/4\,(D^2 - d^2) = 0{,}785\,(400^2 - 56^2) = 123000$ мм^2

Усилие в штоке составит **$P = A\cdot q = 123000$ Н**

Площадь сечения штока равна **$a = (\pi\cdot d^2/4) = 2462$ мм^2**

Напряжение в штоке получится

$\sigma = P/a = 123000/2462 = 50$ Н/мм^2 = 50 МПа

Удлинение штока будет равно

$\Delta l = P\cdot L/E\cdot a = \sigma\cdot L/E = 50\cdot 750/2\cdot 10^5 = 0{,}187$ мм

Пример 3. Для стального стержня сплошного круглого сечения (рис.2.42) с диаметром D, вращающегося в подшипниках, построить эпюру внутренних скручивающих моментов и эпюру углов поворота сечений, приняв за неподвижное - сечение с моментом T_2.

Данные к расчету: T_1 = 800 Нм, T_2 = 300 Нм, T_3 = 500 Нм, a = b = 0,5 м., c = 0,3 м,

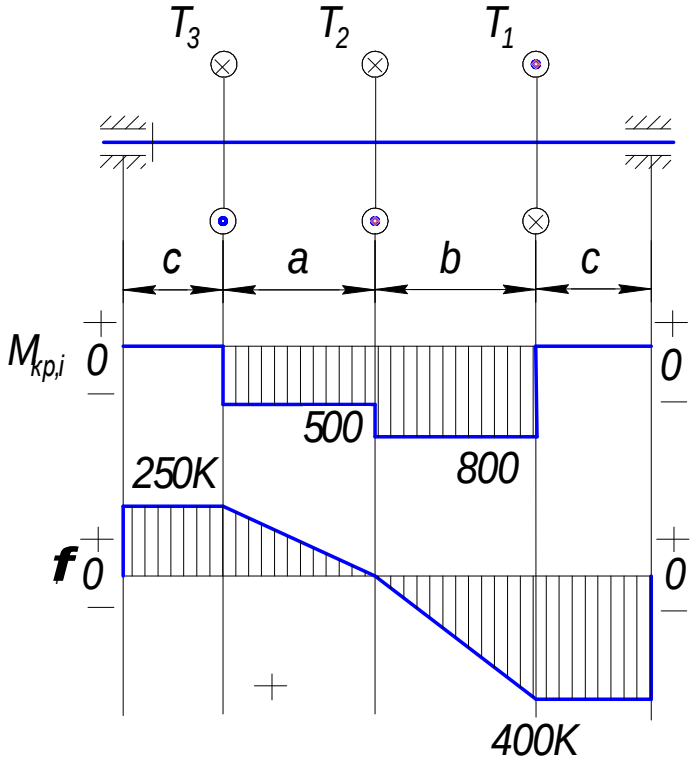


Рис.2.42

Решение.

1) Разбиваем вал на участки I, II, III, IY и мысленно проводим сечения 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, отбрасываем любую часть вала (в данном случае – левую) и уравновешиваем оставшуюся часть вала внутренними крутящими моментами.

На участках I и IY напряжения не возникают и внутренние моменты равны нулю, т. к. вал вращается в подшипниках с какой-то постоянной скоростью.

$\mathbf{M_{кр\,1} = 0;}$

$\mathbf{M_{кр\,2} = T_3 + T_2 – T_1 = 450 + 300 – 800 = 0}$

На участке II: $\mathbf{M_{кр2} = - T_1 = - 800}$ **Нм** (смотрим со стороны сечения, внешний момент вращает отсеченную часть по часовой стрелке, значит внутренний момент отрицательный)

На участке III: $\mathbf{M_{кр3} = -T_1 + T_2 = -800 +300 = -500}$ **Нм**

Строим эпюру внутренних крутящих моментов.

2) Наиболее опасный участок – участок II. Если бы нам потребовалось определить диаметр вала из условия прочности по формуле

$\mathbf{D \geq \sqrt[3]{16\,[M_{кр}^{макс}] / (\pi\,[\,\tau\,])}}$, то $[M_{кр}^{макс}] = 800$ Нм

Предположим, что диметр вала определен.

3) Определяем углы поворота сечений на каждом участке по формуле:

$\mathbf{\Delta\varphi = (M_{кр} \cdot L) / (G \cdot I_p)}$ **рад,**

где $\mathbf{M_{кр}}$ – внутренний крутящий момент на участке,

L – длина участка**,**

$\mathbf{G = 8 \cdot 10^4}$ **МПа –** модуль сдвига для стали,

$\mathbf{I_p = 0{,}1D^4}$ **-** полярный момент инерции для сплошного круглого сечения.

Т.к. материал и диаметр вала постоянны, то можно заменить выражение $\mathbf{1/(G \cdot I_p)}$ на какую-то постоянную величину **К.**

Тогда $\mathbf{\Delta\varphi = (M_{кр} \cdot L) / К;}$

$\mathbf{\Delta\varphi_2 =(- 800) \cdot 0{,}5 \cdot К = - 400\ К}$ **рад;**

$\mathbf{\Delta\varphi_3 = (-500) \cdot 0{,}5 \cdot К = -250\ К}$ **рад;**

$\mathbf{\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_4 = 0,}$ т.к. концы валов вращаются в подшипниках, $M_{кр} = 0$, поэтому там все сечения поворачиваются на столько же, на сколько поворачиваются предыдущие сечения II и III. Участки эпюры **φ** здесь горизонтальны.

$\mathbf{\varphi_2^{пр} = \varphi_2^{лев} + \Delta\varphi_2 = 0 – 400\ К = - 400\ К}$ **рад**

$\mathbf{\varphi_3^{пр} = \varphi_3^{лев} + \Delta\varphi_3 = 0,}$

отсюда $\mathbf{\varphi_3^{лев} = \varphi_3^{пр} - \Delta\varphi_3 = 0 + 250\ К = 250\ К}$ **рад**

Строим эпюру углов поворота

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ТЕРМИНЫ, ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ В КУРСЕ «СТАТИКА»

МЕХАНИКА — наука о механическом движении и механическом взаимодействии материальных тел.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА (ОБЩАЯ МЕХАНИКА) — раздел механики, в котором излагаются основные законы и принципы этой науки и изучаются общие свойства движения и равновесия механических систем.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ — изменение с течением времени взаимного положения в пространстве материальных тел или взаимного положения частей данного тела (Понятие механическое движение может относиться и к геометрическим объектам)

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ — действие на данное материальное тело со стороны других материальных тел, которое приводит к изменению скоростей точек данного тела или следствием которого является изменение взаимного положения частей данного тела.

СИЛА — векторная величина, являющаяся мерой механического действия одного материального тела на другое.

ИНЕРТНОСТЬ — свойство материального тела, проявляющееся в сохранении движения, совершаемого им при отсутствии действующих сил.

МАССА — одна из основных характеристик любого материального объекта, являющаяся мерой его инертности и гравитации.

МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА (МТ) — точка, обладающая массой

МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (МС) — любая совокупность материальных точек (В механике материальное тело рассматривается как механическая

система, образованная непрерывной совокупностью материальных точек)

МАССА МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ — сумма масс материальных точек, образующих систему

АБСОЛЮТНО ТВЕРДОЕ ТЕЛО (АТТ) — материальное тело, в котором расстояние между двумя любыми точками всегда остается неизменным

СВОБОДНОЕ ТВЕРДОЕ ТЕЛО — твердое тело, на перемещения которого не наложено никаких ограничений.

НЕСВОБОДНОЕ ТВЕРДОЕ ТЕЛО — твердое тело, на перемещения которого наложены ограничения

РАВНОВЕСИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ — состояние механической системы, при котором все ее точки под действием приложенных сил остаются в покое по отношению к рассматриваемой системе координат (Равновесие является частным случаем движения механической системы).

СТАТИКА — раздел механики, в котором изучаются условия равновесия механических систем под действием сил.

КИНЕМАТИКА — раздел механики, в котором изучаются законы движения механических систем без учета факторов, вызывающих это движение.

ДИНАМИКА — раздел механики, в котором изучаются движения механических систем с учетом факторов, вызывающих это движение.

СИСТЕМА ОТСЧЕТА — система координат, связанная с твердым телом (телами), по отношению к которому определяется положение других тел (или механических систем) в разные моменты времени.

РАДИУС - ВЕКТОР ТОЧКИ — вектор, проведенный из начала координат, до движущейся точки

ЛИНИЯ ДЕЙСТВИЯ СИЛЫ — прямая, вдоль которой направлен вектор, изображающий силу.

СИСТЕМА СИЛ — любая совокупность сил, действующих на механическую систему.
СИСТЕМА СХОДЯЩИХСЯ СИЛ — система сил, линии действия которых пересекаются в одной точке.
СИСТЕМА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СИЛ — система сил, линии действия которых параллельны.
ПЛОСКАЯ СИСТЕМА СИЛ — система сил, линии действия которых лежат в одной плоскости.
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СИСТЕМА СИЛ — система сил, линии действия которых не лежат в одной плоскости.
ПЛЕЧО СИЛЫ — кратчайшее расстояние от данной точки до линии действия силы.
МОМЕНТ СИЛЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ТОЧКИ — величина, равная векторному произведению радиус-вектора, проведенного из данной точки в точку приложения силы, на эту силу (Точку, относительно которой берется момент силы, можно называть центром момента, а момент силы относительно точки – моментом силы относительно центра).
МОМЕНТ СИЛЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ — величина, равная проекции на эту ось момента силы, взятого относительно любой точки оси.
ГЛАВНЫЙ ВЕКТОР СИСТЕМЫ СИЛ — величина, равная сумме всех сил системы.
ГЛАВНЫЙ МОМЕНТ СИСТЕМЫ СИЛ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА — величина, равная сумме моментов всех сил системы относительно данного центра.
ВНЕШНЯЯ СИЛА — сила, действующая на какую-либо материальную точку механической системы со стороны тел, не принадлежащих рассматриваемой механической системе.
ВНУТРЕННЯЯ СИЛА — сила, действующая на какую-либо материальную точку механической системы со

стороны других материальных точек, принадлежащих рассматриваемой механической системе.
ПАРА СИЛ — система двух параллельных сил, равных по модулю и направленных в противоположные стороны.
ПЛЕЧО ПАРЫ — кратчайшее расстояние между линиями действия сил пары.
МОМЕНТ ПАРЫ — мера механического действия пары, равная сумме моментов сил пары относительно любого центра (Момент пары сил является «свободным вектором», алгебраически равен произведению модуля одной из сил, составляющих пару относительно точки приложения другой силы).
СВЯЗИ — ограничения, налагаемые на положения и скорости точек механической системы, которые должны выполняться при любых, действующих на систему сил.
РЕАКЦИИ СВЯЗИ — силы, действующие на материальные точки механической системы со стороны материальных тел, осуществляющих связи, наложенные на эту систему.
СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА — механическая система, у которой реакции всех наложенных связей могут быть определены из условий равновесия, получаемых в статике.
УРАВНОВЕШЕННАЯ СИСТЕМА СИЛ — система сил, которая, будучи приложенной к свободному твердому телу, находящемуся в покое, не выводит его из состояния этого покоя.
УРАВНОВЕШИВАЮЩАЯ СИСТЕМА СИЛ — система сил, которая вместе с заданной другой системой сил составляет уравновешенную систему сил.
ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ СИЛ — две или несколько систем сил, имеющие одну и ту же уравновешивающую систему сил (Системы сил будут

эквивалентными, если у них равны главные векторы и главные моменты относительно одного и того же любого центра).

ПРИВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ СИЛ К ДАННОЙ ТОЧКЕ — операция замены системы сил, действующих на АТТ, эквивалентной ей системой сил, состоящей из одной силы, приложенной в данной точке, и пары сил (Эта точка называется центром приведения, а саму операцию можно именовать «Приведение системы сил к данному центру»).

ЦЕНТР ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СИЛ — геометрическая точка, через которую проходит линия действия равнодействующей системы параллельных сил при любом повороте этих сил вокруг точек их приложения, сохраняющем их параллельность и взаимную ориентацию их направлений.

ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ — центр параллельных сил тяжести, действующих на все частицы тела.

ИНВАРИАНТЫ СИСТЕМЫ СИЛ — величины, остающиеся неизменными при преобразовании данной системы сил в любую ей эквивалентную, равные главному вектору этой системы сил и проекции ее главного момента относительно любого центра на направление главного момента.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материал	Модули упругости		Плотность
	E, МПа	**G**, МПа	**ρ**, кг/см^3
Сталь	$2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^4$	7,85
Чугун	$1 \cdot 10^5$	$4{,}5 \cdot 10^4$	7,20
Медь	$1 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^4$	8,50
Алюминий и дюраль	$0{,}675 \cdot 10^5$	$2{,}7 \cdot 10^4$	2,7
Дерево (вдоль волокон)	$0{,}1 \cdot 10^5$	$0{,}55 \cdot 10^4$	0,55
Дерево (поперек волокон)	$0{,}1 \cdot 10^4$	$0{,}55 \cdot 10^3$	0,55

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ЗНАЧЕНИЯ α, β и γ ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ

h/b	1	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
α	0,14	0,294	0,457	0,790	1,123	1,789	2,456	3,123
β	0,208	0,346	0,493	0,801	1,150	1,789	2,456	3,123
γ	1,0	0,859	0,795	0,753	0,745	0,743	0.742	0,742

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

СТАТИКА

1.7. Свободным; **1.10.** Не имеет; **1.11**. φ = 60 º; **1.12.** F_Σ = 8 Н; **1.13**. Да, т.к. ΣF_{ix} =0, ΣF_{iy} =0; **1.18.** В общем случае – нет; да, если силы образуют уравновешенную систему; **1.20**. M_Σ = 0,792 Н; **1.21**. M_3 = 390 Нм; **1.22.** F_Y = - 3 Н; **1.23**. Вертикально вниз; **1.25.** F = 14,1 Н; **1.29.** Система находится в равновесии; **1.30.** Система приводится к паре сил; **1.31.** Система приводится к равнодействующей; **1.34.** R = 2 Н; **1.37.** q = 25 Н/м; **1.38.** q = 400 Н/м; **1.39.** F = 144 Н; **1.40**. BC = 2 м; **1.42.** h = 0,2 м; **1.43**. γ_C = 0,187 м; **1.44**. x_C = - 0, 126 м; **1.45**. x_C = 20 см;

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

2.1. F = 5,77 кН, Δl = 0,15 мм; **2.2.** h = 29,5 мм; **2.3**. n = 9,5 болтов, принимаем 10 или 12 болтов; **2.4**. $F_{пред}$ = 120 кН; **2.5.** $F_{макс}$ = 25,6 т, Δl = 1,17 мм; **2.6**. d = 3,44 мм; **2.8.** P = 21,3 т; **2.9**. a = 1,08 м, σ_1 = 44 МПа, σ_2 = 33 МПа; **2.10.** L_o = 9 м, $F_{пред}$ = 9 т; **2.12**. Δ = 0,6 мм; **2.13**. P = 14,1 т;

2.15. 1) n = 32 проволоки, 2) диаметр менять не надо, т.к. Δl_2 = 5,18 мм, что меньше 5,5 мм; **2.16.** E = 1,15 · 10^5 МПа; **2.17**. E = 1,7 · 10^5 МПа; **2.18**. а) 25,0135 см, б) 25,011 см, E = 1,88 · 10^5 МПа; **2.20.** P = 785 Н, CC^1 = 10 см, σ = 1000 МПа; **2.22**. d = 5 мм, Δ = 51,8 мм; **2.24.** P = 130 кН = 13 т; **2.26**. d = 35,7 мм**; 2.29.** τ_1 = 58 МПа, τ_2 = 49,7 МПа, φ = 12,7 ·10^{-3} рад; **2.32.** D = 366 мм; **2.34.** Вес прямоугольного сечения больше круглого в 1,12 раза; **2.35.** (86 x 86) мм^2**; 2.36.** Двутавр № 27а; **2.37.** σ_{max} = 41,2 МПа.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

Ч.1.Статика. 6

Программа курса 6

Вопросы для самоконтроля 9

Задания для самостоятельного решения 11

Ч.2. Сопротивление материалов 25

Программа курса 27

Вопросы для самоконтроля 31

Задания для самостоятельного решения 36

Примеры решения задач 61

Приложение 1. Термины, применяющиеся в курсе «Статика» 66

Приложение 2. Физические характеристики некоторых материалов 71

Приложение 3. Значения α, β, γ для прямоугольных сечений 71

Ответы к задачам 72

Учебное издание

Комарова Татьяна Геннадьевна
Зарубин Василий Павлович

Механика
Часть 1. Статика.
Часть 2. Основы расчетов на прочность

Методическое пособие
для самостоятельной работы студентов

Под редакцией В.Г. Мельникова

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 30.10.2008.
Формат 60x84 1/16. Бумага писчая.
Усл. печ. л. 4,65. Уч. – изд. л. 5,16.
Тираж экз. Заказ

ГОУВПО Ивановский государственный
химико-технологический университет
Отпечатано на полиграфическом оборудовании
кафедры экономики и финансов ГОУВПО „ИГХТУ”
153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7