

РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ГАОУ СПО «АЛЬМЕТЬЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ
СТУДЕНТОВ - ЗАОЧНИКОВ

По дисциплине «Техническая механика»
Для специальностей 140448 «Техническая эксплуатация и
 обслуживание электрического и
 электромеханического оборудования»
270802 «Строительство и эксплуатация зданий и
 сооружений»
190629 «Техническое обслуживание и ремонт
 автомобильного транспорта»
131018 «Разработка и эксплуатация нефтяных и
 газовых месторождений»
131003 «Бурение нефтяных и газовых скважин»

ВВЕДЕНИЕ

Материал программы "Техническая механика" состоит из двух разделов: теоретическая механика и сопротивление материалов. Назначение предмета — дать будущим специалистам основные сведения о законах движения и равновесия материальных тел, о методах расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость, а также сведения об устройстве, области применения, методах проектирования деталей машин и несложных изделий общего назначения.

В результате изучения дисциплины студент должен:

иметь представление:

- о роли и месте знаний по дисциплине при освоении профессиональной образовательной программы по конкретной специальности и в сфере профессиональной деятельности техника;
- об оценке степени совершенства конструкции детали, механизма по критериям работоспособности;

знать и уметь использовать:

- законы механического движения и равновесия;
- методы расчета элементов конструкции на прочность, жесткость, устойчивость и усталость при различных видах нагружения;
- методы механических испытаний материалов;
- методы расчета механических передач;
- справочный аппарат по выбору материалов и нормативов, обеспечивающих работоспособность, надежность, долговечность конструкции;

владеть навыками:

- построения расчетной схемы;
- составления уравнений равновесия;
- анализа механического движения и определения вида движения элементов конструкций;
- расчета элементов конструкций на прочность и жесткость при различных видах нагружения;
- пользования нормативной и технической документацией при технических расчетах.

Изучать материал каждой темы следует в два этапа. Вначале нужно внимательно и вдумчиво прочитать в учебнике содержание всей темы, разобраться в основных понятиях, определениях, законах, правилах и в их логической взаимосвязи. Затем тщательно изучить материал во всех подробностях, конспектируя основные положения, определения, доказательства, правила. Для лучшего усвоения учебного материала следует разобрать примеры решения задач, приведенные в учебной литературе, при необходимости решить дополнительно возможно большее число задач. Студент должен выполнить две контрольные работы, содержание которых в данном

пособии приведено после методических указаний к контрольным работам. При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие требования:

— каждая контрольная работа должна быть выполнена в отдельной тетради;

— выполняется работа четко и аккуратно, для рецензии преподавателя

оставляются на страницах поля шириной не менее 40 мм;

— каждую задачу необходимо начинать с новой страницы;

— на обложке тетради надо указать фамилию, имя, отчество, шифр, наименование предмета, номер контрольной работы, почтовый адрес.

При выполнении задач необходимо полностью переписать условие, составить расчетную схему с обозначением усилий, моментов и других величин, предусмотренных условиями задачи или вытекающих из решения. Решение задач следует сначала выполнить в общем виде, обозначая все данные и искомые величины буквами, после чего вместо буквенных обозначений проставить их! числовые значения и получить искомый результат. Везде необходимо придерживаться стандартных обозначений и вычисления производить в единицах СИ. Каждое решение задачи должно быть выполнено в определенной последовательности, обосновано теоретически, пояснено необходимым текстом; эти действия следует располагать в таком порядке, чтобы был виден логический ход решения задачи. Если возможно, проверьте правильность ответа, решив задачу вторично каким—либо иным путем.

Выполненную контрольную работу следует своевременно выслать в техникум. Незачтенная работа или выполняется заново, или переделывается частично, по рецензии преподавателя.

СОДЕРЖАНИЕ ПРЕДМЕТА

Введение

Содержание предмета "Техническая механика". Роль и значение технической механики в технике. Материя и движение. Механическое движение. Равновесие. Теоретическая механика и ее разделы: статика, кинематика и динамика.

Литература 1, стр. 4...6; 3, стр. 9...13

Методические указания

Статика является частью теоретической механики, изучающей условия, при которых тело находится в равновесии под действием заданной системы сил. Успешное овладение методами статики — необходимое условие для изучения всех последующих тем и разделов курса технической механики, теоретической базой которых и является статика.

Раздел 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Статика

Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики

Материальная точка. Абсолютно твердое тело. Первая аксиома статики (закон инерции). Сила; сила — вектор. Вторая аксиома (условие равновесия двух сил). Система сил. Эквивалентные системы сил. Равнодействующая сила. Уравновешивающая сила. Третья аксиома (принцип присоединения и исключения уравновешенных сил). Перенос силы вдоль линии ее действия (сила — скользящий вектор). Пятая аксиома (закон равенства действия и противодействия). Свободное и несвободное тело. Связи. Реакции связей.

Литература 1, стр. 7...20; 3, стр. 15...35

Методические указания

Следует глубоко вникнуть в физический смысл аксиом статики, воспользовавшись, помимо основной, и дополнительной литературой. Изучая связи и их реакции, нужно иметь в виду, что реакция связи является силой противодействия и направлена всегда противоположно силе действия рассматриваемого тела на связь (опору).

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите разделы теоретической механики и укажите, какие вопросы в них изучаются.
2. Дайте определение материи. Перечислите формы движения материи.
3. В чем общность понятий абсолютно твердого тела и материальной точки и в чем их различие?
4. Дайте определение силы.
5. Какие системы сил называются статически эквивалентными?
6. Что такое равнодействующая системы сил, уравнивающая сила?
7. Сформулируйте аксиомы статики.
8. Что означает: "сила — скользящий вектор"?
9. Какие тела называются свободными, а какие — несвободными?
10. Что называется связью? Что такое реакция связи?
11. Перечислите виды связей и укажите направление соответствующих им реакций.

Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил

Система сходящихся сил. Четвертая аксиома статики (правило параллелограмма); правило треугольника. 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 взаимно перпендикулярные оси. Аналитическое определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил (метод проекции). Геометрическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил. Аналитические условия равновесия плоской системы сходящихся сил (уравнение равновесия).

Литература 1, стр. 21...28; 3, стр. 36...59

Методические указания

Эта система эквивалентна одной силе (равнодействующей) и стремится придать телу (в случае если точка схода всех сил совпадает с центром тяжести тела) прямолинейное движение. Равновесие тела будет иметь место в случае равенства равнодействующей нулю. Геометрическим условием равновесия является замкнутость многоугольника, построенного на силах системы, аналитическим условием - равенство нулю алгебраических сумм проекций сил на любые две взаимно перпендикулярные оси. Следует получить твердые навыки в решении задач на равновесие тел, обратив особое внимание на

рациональный выбор направления координатных осей.

Вопросы для самоконтроля

1. Как геометрически находится равнодействующая плоской системы сходящихся сил?
2. Что называется проекцией силы на ось? В каком случае проекция силы на ось равна модулю силы? В каком случае проекция силы на ось равна нулю?
3. Как найти числовое значение и направление равнодействующей системы сил, если заданы проекции составляющих сил на две взаимно перпендикулярные оси?
4. Сформулируйте аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил.

Тема 1.3 Пара сил

Пара сил. Вращающее действие пары сил на тело. Плечо пары сил, момент пары сил; знак момента. Теорема об эквивалентных парах. Возможность переноса пары в плоскости ее действия. Сложение пар. Условие равновесия пар.

Литература 1, стр. 28...44; 3, стр. 67...75

Методические указания

Система пар сил эквивалентна одной паре (равнодействующей) и стремится придать телу вращательное движение. Равновесие тела будет иметь место в случае равенства нулю момента равнодействующей пары. Аналитическим условием равновесия является равенство нулю алгебраической суммы моментов пар системы. Следует обратить особое внимание на определение момента силы относительно точки, а также оси. Необходимо помнить, что момент силы относительно точки равен нулю лишь в случае, если точка лежит на линии действия силы, а относительно оси — лишь тогда когда сила и ось лежат в одной плоскости (т. е. линия действия силы или параллельна оси, или пересекает ее).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое пара сил?
2. Что такое момент пары сил, плечо пары сил?
3. Назовите свойства пар сил.
4. Сформулируйте условие равновесия системы пар сил.

Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил

Момент силы относительно точки. Приведение силы к данной точке (центру). Приведение плоской системы сил к данной точке. Главный вектор и главный момент плоской системы сил. Равнодействующая плоской системы сил. Теорема Вариньона. Применение теоремы Вариньона к определению равнодействующей параллельных сил, направленных в одну и в разные стороны.

Уравнения равновесия плоской системы сил (три вида). Уравнения равновесия плоской системы параллельных сил (два вида). Балочные системы; классификация нагрузок и виды опор. Понятие о статически неопределимых системах. Связи с трением. Трение скольжения. Сила трения угол трения, коэффициент трения. Особенности трения качения, коэффициент трения качения, его размерность.

Литература 1, стр. 45...64; 3, стр. 78...102

Методические указания

Эта система эквивалентна одной силе (называемой главным вектором) и одной паре (момент которой называют главным моментом) и стремится придать телу в общем случае прямолинейное и вращательное движение одновременно. Изученные ранее система сходящихся сил и система пар — частные случаи произвольной системы сил. Равновесие тела будет иметь место в случае равенства нулю и главного вектора, и главного момента системы. Аналитическим условием равновесия является равенство нулю алгебраических сумм проекций сил системы на любые две взаимно перпендикулярные оси и алгебраической суммы моментов сил относительно любой точки. Следует получить твердые навыки в решении задач на равновесие тел, в том числе на определение опорных реакций балок и сил, нагружающих стержни, обратив особое внимание на рациональный выбор направления координатных осей и положения центра моментов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое момент силы относительно точки? Как назначают знак момента силы относительно точки? Что называется плечом силы?
2. В каком случае момент силы относительно точки равен нулю?
3. Докажите теорему о параллельном переносе силы.
4. Что такое главный вектор и главный момент плоской системы сил?
5. В каком случае главный вектор плоской системы сил является ее равнодействующей?

6. Сформулируйте теорему Вариньона.
7. Сформулируйте аналитическое условие равновесия плоской системы произвольно расположенных сил.
8. Укажите три вида уравнений равновесия плоской системы произвольно расположенных сил.
9. Укажите, как рационально выбрать направления осей координат и центр моментов.
10. Какие уравнения равновесия можно составить для плоской системы параллельных сил?
11. Какие нагрузки называются сосредоточенными и распределенными?
12. Что такое интенсивность равномерно распределенной нагрузки? Как найти числовое значение, направление и точку приложения равнодействующей равномерно распределенной нагрузки?
13. Какие системы называются статически неопределимыми?
14. Что называется силой трения?
15. Перечислите основные законы трения скольжения.
16. Что такое угол трения, конус трения?
17. Каковы особенности трения качения?

Тема 1.5 Пространственная система сил

Параллелепипед сил. Проекция силы на три взаимно перпендикулярные оси. Условие равновесия пространственной системы сходящихся сил.

Момент силы относительно оси. Понятие о главном моменте и главном векторе произвольной пространственной системы сил. Условия равновесия и шесть уравнений равновесия (без вывода).

Литература 1, стр. 72...87; 3, стр. 118...137

Методические указания

Необходимо понять, что для пространственной системы сил можно составить шесть уравнений равновесия. Имейте в виду, что эти уравнения можно использовать при ознакомлении с шестью внутренними силовыми факторами в сопротивлении материалов. Рекомендуется решить несколько задач на равновесие пространственного нагруженного тела, используя проекции гола и сил, к нему приложенных, на две или на три плоскости.

Вопросы для самоконтроля

1. Сколько уравнений равновесия и какие можно составить для пространственной системы сходящихся сил?
2. Что такое момент силы относительно оси? В каких случаях момент силы относительно оси равен нулю?

3. Сколько уравнений равновесия и какие можно составить для произвольной пространственной системы сил, для пространственной системы параллельных сил?

Тема 1.6 Центр тяжести

Понятие о центре параллельных сил. Формулы для определения положения центра параллельных сил (без вывода). Сила тяжести. Центр тяжести тела как центр параллельных сил. Формулы для определения положения центра тяжести тела, имеющего вид тонкой однородной пластинки. Положение центра тяжести простейших фигур. Определение положения центра тяжести тонких пластинок или сечений составленных из простых геометрических фигур и из стандартных профилей проката.

Литература 7, стр. 38...102; 3, -стр. 138...149

Методические указания

Тема относительно проста для усвоения, однако крайне важна при изучении курса сопротивления материалов. Главное внимание здесь должно быть обращено на решение задач, как с плоскими геометрическими фигурами, так и со стандартными прокатными профилями.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое центр параллельных сил?
2. Как найти координаты центра параллельных сил?
3. Что такое центр тяжести тела?
4. Как найти координаты центра тяжести прямоугольника, треугольника, круга?
5. Как найти координаты центра тяжести плоского составного сечения?

Кинематика

Тема 1.7 Основные понятия кинематики

Кинематика как наука о механическом движении, изучаемом с точки зрения геометрии. Основные понятия кинематики: траектория, расстояние, путь, время, скорость и, ускорение.

Литература 1, стр. 108...113; 3, стр. 60...163

Методические указания

Изучение кинематики нужно начинать с таких понятий, как время, траектория, расстояние, пройденный путь, понять различие последних двух понятий. Например, при движении точки путь, пройденный ею, непрерывно увеличивается, расстояние или дуговая координата может быть положительна, отрицательна или равна нулю. Скорость — это вектор, характеризующий в каждый момент времени направление движения точки и быстроту ее перемещения, а ускорение — это вектор, характеризующий быстроту изменения скорости по модулю и направлению.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается относительность понятий покоя и движения?

2. Дайте определение основных понятий кинематики: траектория, расстояние, путь, скорость, ускорение, время.

Тема 1.8 Кинематика точки

Способы задания движения точки. Скорость. Ускорение полное, нормальное и касательное. Виды движения точки в зависимости от ускорения.

Равнопеременное движение точки. Кинематические графики.

Литература 1, стр. 128; 3, стр. 169..198

Методические указания

Рассмотрите способы задания движения точки, особое внимание уделите естественному способу задания движения точки. Учтите, что уравнение движения точки не одно и то же, что уравнение траектории движения. Уравнение траектории описывает линию, по которой движется точка, а уравнение движения (закон движения) показывает, как по заданной траектории движется точка. Необходимо усвоить физический смысл касательного и нормального ускорений. Необходимо также последовательно рассмотреть частные случаи движения точки.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими способами может быть задан закон движения точки?

2. Как направлен вектор истинной скорости точки при криволинейном движении?

3. Как направлены касательное и нормальное ускорения точки?

4. В каком случае вектор полного ускорения составляет острый,

прямой, тупой угол с вектором скорости точки?

5. Какое движение совершает точка, если касательное ускорение равно нулю, а нормальное не изменяется с течением времени?

6. Как выглядят кинематические графики при равномерном и равнопеременном движении?

Тема 1.9. Простейшее движение твердого тела

Поступательное движение твердого тела и его свойства.
Вращательное движение твердого тела вокруг неподвижной оси.
Угловая скорость, частота вращения.

Угловое ускорение. Единицы измерения угловой скорости и частоты вращения; связь между ними. Единицы измерения углового ускорения. Виды вращательного движения в зависимости от углового ускорения.

Линейные скорости точек вращающегося тела. Нормальное (центростремительное), касательное (тангенциальное) и полное ускорения точек вращающегося тела; выражение нормального и касательного ускорения точки соответственно через угловую скорость и угловое ускорение тела. Способы передачи вращательного движения. Понятие о передаточном отношении. Определение передаточных отношений простейших передач через их геометрические параметры.

Литература 1, стр. 130... 147; 3, стр. 199...215

Методические указания

При изучении поступательного движения твердого тела необходимо понять, что поступательное движение можно задать движением одной точки, так как все точки тела имеют одинаковые скорости, ускорения и траектории. При изучении вращательного движения твердого тела необходимо учесть, что вращаться может только тело, а точке присуще лишь криволинейное движение. Со способами передачи вращательного движения следует ознакомиться на примерах моделей. Нужно прорешать несколько задач на определение передаточного отношения и ознакомиться со способами его вычисления.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое движение твердого тела называется поступательным?
2. Перечислите свойства поступательного движения твердого тела.
3. Дайте определение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси.
4. Как записывается в общем виде уравнение вращательного движения твердого тела?

5. Напишите формулу, устанавливающую связь между частотой вращения тела n и угловой скоростью вращения ω .

6. Дайте определение равномерного и равнопеременного вращательного движения.

7. Какая дифференциальная зависимость существует между угловым перемещением, угловой скоростью и угловым ускорением?

8. Какая зависимость существует между линейным перемещением, скоростью и ускорением точек вращающегося тела и угловым перемещением, скоростью и ускорением тела?

9. Перечислите способы передачи вращательного движения.

10. Что такое передаточное отношение передачи?

Тема 1.10 Сложное движение точки

Относительное, переносное и абсолютное движения точки. Теорема сложения скоростей (без вывода).

Литература 1, стр. 148...162; 3, стр. 225...233

Методические указания

Основное время при изучении темы "Сложное движение точки" отведите решению задач. В каждой задаче сначала выберите две системы отсчета — абсолютную и относительную, найдите относительное, переносное и абсолютное движения, затем направления соответствующих скоростей и только после этого переходите к решению задач, выполняя четкий рисунок.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое движение точки называется относительным, переносным, абсолютным? Приведите примеры относительного, переносного и абсолютного движения точки.

2. Может ли быть равной нулю скорость абсолютного движения точки, если скорости переносного и относительного движения не равны нулю?

3. Сформулируйте теорему сложения скоростей при сложном движении точки.

4. С какой скоростью должен перемещаться поезд, чтобы пассажиру другого поезда идущего со скоростью 80 км/ч по параллельному пути, он казался неподвижным?

Тема 1.11 Плоскопараллельное движение твердого тела

Понятие о плоскопараллельном движении тела. Разложение плоскопараллельного движения на поступательное и вращательное. Теорема о сложении скоростей. Мгновенный центр скоростей,

использование его при определении абсолютной скорости любой точки тела.

Литература 1, стр. 148...162; 3, стр. 233...249

Методические указания

При рассмотрении теории плоскопараллельного движения учтите, что это движение можно осуществлять двумя движениями — поступательным и вращательным (этот способ применяется в теории машин и механизмов). Нужно доказать существование мгновенного центра скоростей и решить несколько задач по основным случаям отыскания мгновенного центра скоростей и на определении абсолютной скорости любой точки тела.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое движение твердого тела называется плоскопараллельным?
2. На какие виды движений может быть разложено плоскопараллельное движение?
3. Что такое мгновенный центр скоростей?
4. Как определить абсолютную скорость любой точки тела, если положение ее мгновенного центра скоростей известно?
5. Чему равны максимальная и минимальная скорости абсолютного движения точек колеса автомобиля, движущегося по прямолинейному участку траектории со скоростью 60 км/ч?

Динамика

Тема. 1.12 Основные понятия и аксиомы динамики

Первая аксиома (принцип инерции). Вторая аксиома (основной закон динамики точки). Масса материальной точки, единицы массы в Международной системе (СИ).

Зависимость между массой и силой тяжести. Третья аксиома (закон независимости действия сил). Четвертая аксиома (закон равенства действия и противодействия).

Литература 1, стр. 167... 170; 3, стр. 26...268

Методические указания

Изучение данной темы начните с формулировок основных аксиом и законов динамики. Обратите внимание на понятие массы как физической величины, выражающей гравитационные и инертные свойства Материальных тел.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте первую аксиому динамики (принцип инерции) и вторую аксиому динамики (основной закон динамики точки).
2. Сформулируйте две основные задачи динамики.
3. Изложите третью аксиому динамики (закон независимости действия сил) и четвертую аксиому динамики (закон равенства действия и противодействия).
4. Какая зависимость существует между силой тяжести тела и его массой?

Тема 1.13 Метод кинетостатики для материальной точки

Свободная и несвободная материальная точка. Возникновение сил при движении несвободной материальной точки; касательная и нормальная составляющие силы инерции. Принцип Даламбера; метод кинетостатики.

Литература 1, стр. 170...174; 3, стр. 269...276

Методические указания

Несвободную материальную точку или тело, не находящееся в равновесии, можно рассматривать как свободное, если мысленно отбросить связи и заменить их действия силами — реакциями связей. При изучении метода кинетостатики для материальной точки составьте правильное представление о силах инерции. Если к заданным силам и реакциям связей, действующим на движущуюся несвободную точку, мысленно добавить силу инерции точки, то получим уравновешенную систему сил. Прорешайте несколько задач с использованием метода кинетостатики для материальной точки.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение силы инерции. Как определяется ее модуль и направление? К чему приложена сила инерции?
2. В чем замечается принцип Даламбера?
3. С каким нормальным ускорением должен лететь самолет для того чтобы в наивысшей точке мертвой петли летчик не прижимался к сидению?

Тема 1.14 Работа и мощность

Работа постоянной силы при прямолинейном движении, единица работы в СИ: Работа равнодействующей силы. Работа силы тяжести. Работа движущих сил и сил сопротивления. Мощность;

единицы мощности в Международной системе (СИ). Понятие о механическом коэффициенте полезного действия (КПД). Работа и мощность силы при вращательном движении тела.

Литература 1, стр. 175...192; 3, стр. 277...295

Методические указания

Изучая тему "Работа и мощность" рассмотрение каждого теоретического вопроса сопровождайте решением задач, причем прорешайте задачи на определение работы, силы и КПД при перемещении тела по наклонной плоскости. Особое внимание уделите на изучение работы и мощности при вращательном движении тела и связи между вращающим моментом, передаваемой мощностью и скоростью вращения

Вопросы для самоконтроля

1. Как определяется работа постоянной силы на прямолинейном пути?
2. Что называется мощностью?
3. Что такое механический коэффициент полезного действия?
4. Назовите формулу, позволяющую определить вращающий момент через передаваемую мощность и угловую скорость вращения тела при равномерном вращении.

Тема 1.15 Теоремы динамики

Понятие об импульсе силы, количестве движения и кинетической энергии точки. Теорема о количестве движения материальной точки. Теорема о кинетической энергии для материальной точки. Система материальных точек. Внешние и внутренние силы системы. Основное уравнение динамики для вращательного движения твердого тела. Момент инерции тела. Кинетическая энергия тела при поступательном и вращательном движениях.

Литература 1, стр. 193...206; 3, стр. 296...305

Методические указания

Сформулируйте понятия об импульсе силы, количестве движения и кинетической энергии. Решите несколько задач на использование основных теорем динамики: теоремы о количестве движения для материальной точки, теоремы о кинетической энергии для материальной точки, а также с использованием основного уравнения динамики для вращательного движения твердого тела.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение импульса силы, количества движения. Сформулируйте теорему об изменении количества движения точки.
2. Что такое кинетическая энергия точки? Сформулируйте теорему об изменении кинетической энергии материальной точки.
3. Перескажите формулировку основного закона динамики вращательного движения твердого тела.
4. Что такое момент инерции тела? От чего зависит его величина?

Раздел 2 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Тема 2.1 Основные положения

Деформируемое тело; упругость и пластичность. Основные задачи сопротивления материалов. Предварительные понятия о расчетах на прочность, жесткость и устойчивость. Классификация нагрузок: поверхностные и объемные; статические, динамические и повторно — переменные. Основные гипотезы и допущения, применяемые в сопротивлении материалов о свойствах деформируемого тела и характере деформации. Принцип независимости действия сил. Понятие о брус, оболочке и пластине.

Метод сечений. Применение метода сечений для определения внутренних силовых факторов, возникающих в поперечных сечениях бруса.

Напряжение полное, нормальное и касательное.

Литература 1, стр. 207...218; 2, стр. 3...23

Методические указания

Следует усвоить, что внутренние силы, возникающие между частицами тела под действием нагрузок, являются таковыми для тела в целом; при применении же метода сечений эти силы для рассматриваемой части тела являются внешними, т. е. к ним применимы методы статики. Действующая в проведенном поперечном сечении система внутренних сил эквивалентна в общем случае одной силе и одному моменту. Разложив их на составляющие, получаем соответственно три силы (по направлениям координатных осей) и три момента (относительно этих осей), которые называют внутренними силовыми факторами (ВСФ). Возникновение тех или иных ВСФ зависит от фактического нагружения бруса. Определяют ВСФ с помощью уравнений равновесия статики. Внутренним нормальным силам соответствуют нормальные напряжения σ , касательным силам — касательные напряжения τ .

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы задачи сопротивления материалов?
2. Чем отличается деформация упругая от пластической?
3. Следует ли учитывать изменение размеров тел при составлении уравнений равновесия сил, приложенных к нему?
4. В каких случаях при действии на тело нескольких сил эффект действия каждой силы можно считать независимым от действия других сил? Какое название носит этот принцип?
5. Какими расчетными схемами заменяются, реальные объекты расчета? Каковы геометрические признаки, присущие каждой расчетной схеме?
6. Почему нельзя определить внутренние силовые факторы в произвольном сечении, рассматривая равновесие всего тела в целом?
7. В чем заключается метод сечений?
8. Можно ли с помощью метода сечений установить закон распределения внутренних силовых факторов по проведенному сечению?
9. Что такое напряжение? Какова размерность напряжений?
10. Какими напряжениями сопровождаются сдвиг, отрыв частиц?

Тема 2.2 Растяжение и сжатие

Продольные силы и их эпюры. Гипотеза плоских сечений. Нормальное напряжение в поперечных сечениях бруса. Принцип Сен-Венана. Продольная и поперечная деформации при растяжении (сжатии). Закон Гука. Модуль продольной упругости. Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона). Жесткость сечения и жесткость бруса. Определение осевых перемещений поперечных сечений бруса. Анализ напряженного состояния при одноосном растяжении (сжатии). Максимальные касательные напряжения.

Испытание материалов на растяжение и сжатие при статическом нагружении. Диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали и ее характерные параметры, пределы пропорциональности, текучести, прочности (временное сопротивление). Характеристики пластических свойств: относительное остаточное удлинение. Условный предел текучести. Диаграммы растяжения хрупких материалов. Механические свойства пластических и хрупких материалов при сжатии.

Действительный и требуемый (заданный, допускаемый) коэффициенты запаса прочности по пределу текучести и по пределу прочности. Основные факторы, влияющие на выбор требуемого

коэффициента запаса прочности. Условие прочности. Допускаемое напряжение; условие прочности, выраженное через допускаемое напряжение. Расчеты на прочность; проверочные (проверка прочности, определение допускаемой нагрузки), проектные (определение требуемых размеров поперечного сечения бруса). Статически неопределимые системы, температурные напряжения в статически неопределимых системах.

Литература 1, стр. 219...244; 2, стр. 24...103

Методические указания

Следует обратить особое внимание на гипотезу плоских сечений, которая справедлива и при других видах нагружения бруса. При растяжении или сжатии напряжения распределяются по поперечному сечению равномерно, геометрической характеристикой прочности жесткости сечения является его площадь, форма сечения значения не имеет все точки сечения равноопасны. Достаточное внимание следует уделить и вопросу испытания материалов, основным механическим характеристикам прочности материала, предельным и допускаемым напряжениям.

Вопросы для самоконтроля

1. В каком случае брус испытывает деформацию растяжения или сжатия?
2. Каков закон изменения нормальных напряжений по площади поперечного сечения при растяжении и сжатии?
3. Влияет ли форма поперечного сечения на величину напряжений возникающих при растяжении и сжатии?
4. Что называется эпюрой нормальных сил и эпюрой нормальных напряжений?
5. Для чего строятся эпюры N и Q ? Какое поперечное сечение бруса называется опасным?
6. Что такое модуль продольной упругости материала и какова его размерность?
7. Какова связь между продольной и поперечной деформациями?
8. Что такое жесткость сечения бруса при растяжении (сжатии)?
9. Какова цель механических испытаний материалов?
10. Что называется пределами пропорциональности, упругости, текучести, прочности?
11. В чем отличие физического предела текучести от условного?
12. Каковы характеристики пластических свойств материалов?
13. В чем заключается закон разгрузки и повторного

нагрузки?

14. Что такое коэффициент запаса прочности детали или элемента?

15. Что такое требуемый (нормативный) запас прочности? От каких факторов зависит его величина?

16. Что такое напряжения рабочее, предельное, допускаемое и от каких факторов они зависят?

17. Можно ли оценить прочность детали, указав только величину максимальных рабочих напряжений?

18. В каком случае вес конструкции будет меньше: а) конструкция выполнена из стали марки Ст5; б) конструкция выполнена из стали 40ХН?

19. Как изменится вес конструкции, если ее выполнить с меньшим запасом прочности?

20. Диаметр стержня, работающего на растяжение, изменили в два раза. Во сколько раз изменится напряжение?

21. Какие системы называются статически неопределимыми? Приведите примеры статически неопределимых систем при растяжении (сжатии).

22. Как раскрывается статическая неопределимость системы?

23. Две трубки, выполненные из алюминия и стали, жестко заделаны и нагреты до температуры Δt . В какой из них возникнут большие напряжения?

24. Выведите формулу для определения нормальных и касательных напряжений в наклонных сечениях бруса, работающего на растяжение.

Тема 2.3 Практические расчеты на срез и смятие

Срез, основные расчетные предпосылки, расчетные формулы. Смятие, условности расчета, расчетные формулы. Расчеты на срез и смятие соединений заклепками, болтами, поставленными в отверстия без зазоров, штифтами и т.п.

Литература 1, стр. 245...249; 2, стр. 104...114

Методические указания

Здесь следует иметь в виду, что эти расчеты носят условный характер и выводы сопротивления материалов могут быть применимы лишь при введении некоторых допущений. Основное внимание нужно уделить практической стороне вопроса и, среди прочего, правильному выражению площади среза и площади смятия для различных случаев взаимодействия деталей конструкций.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова зависимость между допускаемыми напряжениями растяжения, среза и смятия?

2. По каким формулам производят расчет на срез и смятие?
3. По какому сечению (продольному или поперечному) проверяют на срез призматические шпонки?
4. На каких допущениях основаны расчеты на смятие?
5. Как определяется площадь смятия, если поверхность смятия цилиндрическая, плоская?

Тема 2.4 Кручение

Деформация сдвига и ее исследование на примере кручения тонкостенной трубы. Чистый сдвиг. Закон Гука для сдвига. Модуль сдвига. Закон парности касательных напряжений. Зависимость между тремя упругими постоянными для изотропного тела (без вывода).

Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения. Крутящий момент; построение эпюр. Основные гипотезы. Напряжения, возникающие в поперечных сечениях бруса. Угловые перемещения. Полярные моменты инерции и сопротивления для круга и кольца. Расчеты на прочность и жесткость.

Расчет цилиндрических винтовых пружин растяжения и сжатия. Определение расчетных напряжений (условие прочности) и изменения высоты пружины под нагрузкой.

Литература 1, стр. 250...265; 2, стр. 115...138

Методические указания

Следует обратить внимание на полную смысловую аналогию законов Гука при сдвиге и при растяжении (сжатии), сравнить значения модулей упругости материала при сдвиге и при продольном деформировании (жесткость любого материала при сдвиге меньше). При кручении напряжения распределяются по поперечному сечению неравномерно (в линейной зависимости от расстояния точки до полюса сечения), опасными являются все точки контура сечения, геометрическими характеристиками прочности и жесткости сечения являются соответственно полярный момент сопротивления и полярный момент инерции, значения которых зависят не только от площади, но и от формы сечения. Рациональным (т. е. дающим экономию материала) является кольцевое сечение, имеющее по сравнению с круглым сплошным меньшую площадь при равном моменте сопротивления (моменте инерции). Следует также обратить внимание на вычисление вращающего момента на валу по заданным мощности и угловой скорости вала.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит деформация сдвига?
2. Что такое модуль сдвига и как он связан с модулем продольной упругости?
3. Как определяется крутящий момент в произвольном сечении?
4. Какая зависимость существует между передаваемой валом мощностью, вращающим моментом и угловой скоростью?
5. На каких гипотезах и допущениях основаны выводы формул для определения касательных напряжений и углов поворота сечений при кручении бруса круглого сечения?
6. Каков закон изменения напряжений τ по площади поперечного сечения при кручении?
7. Что является геометрическими характеристиками сечения вала при кручении?
8. Почему выгоднее применять валы кольцевого, а не сплошного сечения?
9. Как изменится величина максимальных касательных напряжений и угла закручивания вала, если его диаметр увеличить в два раза?
10. Изменится ли величина максимальных касательных напряжений и угол поворота сечения, если заменить материал вала, например, вал сделать не стальным, а из сплава алюминия?
11. Почему из условия прочности и жесткости вала на кручение определяют минимально допустимую, а не максимально допустимую скорость вращения вала?

Тема 2.5 Геометрические характеристики плоских сечений

Статические моменты сечений. Осевые, центробежные и полярные моменты инерции. Связь между осевыми и полярными моментами инерции. Связь между моментами инерции (осевыми) относительно параллельных осей. Понятие о главных центральных осях и главных центральных моментах инерции. Главные центральные моменты инерции прямоугольника, круга, кольца и составных сечений, имеющих не менее одной оси симметрии.

Литература 1, стр. 266....277; 2, стр. 139...154

Методические указания

При изучении темы "Геометрические характеристики плоских сечений" не нужно много времени уделять выводам формул для главных центральных моментов инерции простейших сечений, необходимо обратить внимание на решение задач на определение главных центральных моментов инерции составных сечений, имеющих хотя бы одну ось симметрии.

Необходимо также учесть, что понятия: статический момент сечения, осевые моменты инерции сечения, главные центральные моменты инерции сечения и т. д. встретятся при рассмотрении темы "Изгиб".

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы геометрические характеристики сечений при растяжении (сжатии), срезе, смятии и кручении?
2. Что такое статический момент сечения?
3. Что такое осевой и центробежный моменты инерции плоского сечения?
4. Изменяются ли центробежные и осевые моменты инерции при повороте осей? При параллельном переносе?
5. Что такое главные и главные центральные оси инерции?
6. Какая связь существует между моментами инерции относительно параллельных осей, из которых одна является центральной?
7. Какая существует зависимость между моментами инерции относительно двух взаимно перпендикулярных осей и полярным моментом инерции относительно точки пересечения этих осей?
8. Напишите формулу для вычисления осевых моментов инерции для прямоугольника, равнобедренного треугольника, круга и кольца.
9. Как определяются осевые моменты инерции сложных составных сечений?

Тема 2.6 Изгиб

Основные понятия и определения; классификация видов изгиба; прямой изгиб, чистый и поперечный; косоугольный 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 изгибающими моментами и кривизной оси бруса. Жесткость сечения при изгибе. Нормальные напряжения, возникающие в поперечных сечениях бруса при чистом изгибе. Осевые моменты сопротивления. Рациональные формы поперечных сечений балок, выполненных из материалов, одинаково и различно сопротивляющихся растяжению и сжатию. Понятие о касательных напряжениях при изгибе.

Линейные и угловые перемещения при прямом изгибе. Понятие о расчете балок на жесткость.

Литература 1, стр. 278...320; 2, стр. 155...232

Методические указания

Здесь следует подчеркнуть, что теория чистого изгиба имеет как внешнюю, так и смысловую аналогию с теорией кручения — аналогичное распределение напряжений по поперечному сечению; наличие опасных точек сечения, аналогичные геометрические характеристики прочности и жесткости сечения, аналогичный подход к оценке рациональности формы сечения. Особое внимание следует уделить построению эпюр изгибающих моментов по характерным точкам.

Вопросы для самоконтроля

1. В каком случае балка работает на изгиб?
2. Что такое чистый и поперечный изгиб? Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях бруса в этих случаях?
3. Что такое прямой и косой изгиб? Может ли брус круглого поперечного сечения испытывать косой изгиб?
4. Каким методом определяются внутренние силовые факторы, действующие в поперечных сечениях при изгибе?
5. Чему равны поперечная сила и изгибающий момент в произвольном сечении балки при изгибе?
6. Для чего строят эпюры Q_y и M_x ?
7. Скажите правило знаков для поперечной силы Q_y , изгибающего момента M_x ?
8. Какими линиями очерчиваются эпюры Q_y и M_x на участках равномерно распределенной нагрузки?
9. Что можно сказать про эпюры Q_y и M_x для участка балки, испытывающего чистый изгиб?
10. Как меняется характер эпюр поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_x в точках приложения сосредоточенных сил и моментов?
11. Как меняются по высоте сечения нормальные напряжения σ при изгибе?
12. По каким формулам определяются нормальные напряжения при поперечном изгибе?
13. Напишите формулы для определения осевых моментов сопротивления при изгибе для прямоугольника, круга и кольца.
14. Балка работает на изгиб и выполнена из материала, неодинаково сопротивляющегося растяжению и сжатию. Какое сечение в этом случае считается рациональным и почему?
15. Какими перемещениями сопровождается изгиб.

Тема 2.7 Изгиб и кручение

Примеры работы бруса на совместное действие изгиба и кручения. Внутренние силовые факторы и напряжения в поперечном сечении. Формулы для эквивалентного напряжения по гипотезе наибольших касательных напряжений и гипотезе энергии формоизменений. Расчет бруса круглого поперечного сечения на изгиб с кручением.

Литература 1, стр. 324...336; 2, стр. 266...272

Методические указания

Следует четко осознать необходимость применения в данном случае так называемых гипотез прочности и подробно разобрать примеры расчета валов.

Вопросы для самоконтроля

1. Почему в случае одновременного действия изгиба и кручения оценку прочности производят, применяя гипотезы прочности?
2. Приведите примеры деталей, работающих на изгиб с кручением.
3. Какие точки поперечного сечения являются опасными, если брус круглого поперечного сечения работает на изгиб с кручением?

Тема 2.8 Расчеты усталости

Условия работы деталей машин; возникновение переменных напряжений. Основные характеристики цикла. Кривая усталости. Предел выносливости. Факторы, влияющие на предел выносливости; коэффициент снижения предела выносливости. Определение коэффициента запаса прочности. Понятие о расчетах на усталость.
Литература 4, стр. 11...192, стр. 285...302

Методические указания

Здесь следует обратить внимание на то, что обычно расчеты на усталость проводятся не как проектные (определение размеров сечения детали), а как проверочные. Объясняется это тем, что допускаемое напряжение не может быть установлено заранее достаточно точно, так как зависит не только от материала детали, но и от ряда ее конструктивных особенностей (размеров, качества обработки поверхностей, наличия концентраторов напряжений).

Вопросы для самоконтроля

1. Как называется механическая характеристика материала, отделяющая его сопротивление переменным напряжениям?
2. Какой цикл изменения напряжений с точки зрения прочности более опасен: симметричный или отнулевой?
3. Что такое концентрация напряжений?
4. Какие факторы влияют на снижение предела выносливости?
5. Как определяется коэффициент запаса прочности вала, работающего на изгиб с кручением при переменных напряжениях?

Тема 2.9 Устойчивость сжатых стержней

Понятие об устойчивых и неустойчивых формах упругого равновесия. Критическая сила. Условие устойчивости. Формула Эйлера (без вывода) при различных случаях опорных закреплений сжатого стержня, оптическое напряжение. Гибкость. Пределы применимости формулы Эйлера, предельная гибкость. Эмпирические формулы для критических напряжений в функции от гибкости. Понятие о расчетах сжатых стержней по формуле Эйлера и по эмпирическим формулам.

Литература 1, стр. 337...3.46; 2, стр. 314...334

Методические указания

Тема "Устойчивость сжатых стержней" рассматривается весьма кратко. Решение простейших задач начинается с определения гибкости стержня и сравнения его значения с предельной гибкостью материала, а затем расчет стойки на устойчивость ведут или по формуле Эйлера или по формуле Ясинского.

Вопросы для самоконтроля

1. На примере сжатого стержня объясните явление потери устойчивости.
2. Что такое критическая сила?
3. Какое сечение, сплошное, или кольцевое, более рационально с точки зрения устойчивости и почему?
4. Что такое гибкость стержня и предельная гибкость материала? От каких факторов они зависят?
5. В каком случае расчет стойки на устойчивость ведут по формуле Эйлера и когда по формуле Ясинского?

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

К решению *первой* задачи контрольной работы следует приступить после изучения тем: "Основные понятия и аксиомы статики", "Плоская система сходящихся сил". При решении задач на плоскую систему сходящихся сил следует помнить, что проекция силы на ось по величине равна произведению силы на косинус угла между направлением действия силы и положительным направлением оси. Проекция силы на ось считается положительной, если ее направление совпадает с положительным направлением оси координат, и если не совпадает - отрицательной.

Пример № 1

Задание

Аналитически и графически определить реакции связей, удерживающих груз силой тяжести $G = 1500 \text{ Н}$.

Аналитическое решение

1.1. В точке O прикладываем силу тяжести груза G (активную силу). Освобождаем груз от связей и прикладываем реакцию гладкой поверхности R_1 (перпендикулярно BC) и реакцию гибкой связи R_2 (параллельно OA). Так как груз находится в равновесии, то получаем систему трех сходящихся в точке O сил.

1.2. Выбираем систему координат и составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = 0; R_1 + R_2 \cos 60^\circ - G \cos 40^\circ = 0; (1)$$

$$\sum F_{ky} = 0; R_2 \cos 30^\circ - G \cos 50^\circ = 0; (2)$$

1.3 Определяем реакции связей; R_1 и R_2 , решая уравнение (1) и (2):

$$\text{Из уравнения (2) } R_2 = \frac{G \cdot \cos 50^\circ}{\cos 30^\circ} = \frac{1500 \cdot 0.6428}{0.8660} = 1113 \text{ Н}$$

$$\text{Из уравнения (1) } R_1 = -R_2 \cos 60^\circ + G \cos 50^\circ = -1113 \cdot 0.5 + 1500 \cdot 0.7660 = 592 \text{ Н}$$

2. Графическое решение

2.1 Выбираем масштабный коэффициент сил $\mu_f = 40 \text{ Н/мм}$. Определяем отрезок, изображающий силу тяжести G :

$$ab = \frac{G}{\mu_f} = \frac{1500}{40} = 37.5 \text{ мм}$$

2.2 Полученная система сил находится в равновесии, поэтому силовой многоугольник должен быть замкнутым, т. е.:

$$\bar{R}_2(\parallel OA) + \bar{G} + \bar{R}_1(\perp BC) = 0, (3)$$

2.3 Вычислим реакции связей R_1^1 и R_2^1 , полученные в

результате графического решения уравнения (3):

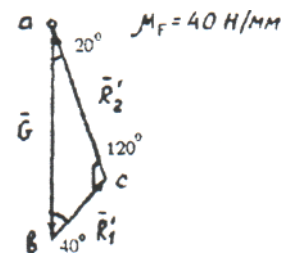
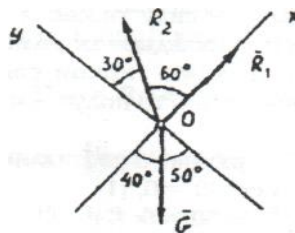
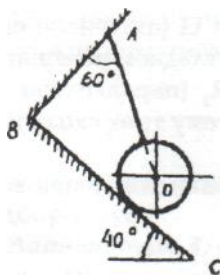
$$R_1^I = bc \cdot \mu_f = 14,5 \cdot 40 = 580 \text{ Н}; \quad R_2^I = ca \cdot \mu_f = 28 \cdot 40 = 1120 \text{ Н}.$$

3. Проверка

Вычисляем ошибки, полученные при определении реакций связей R_1 и R_2 аналитическим и графическими способами:

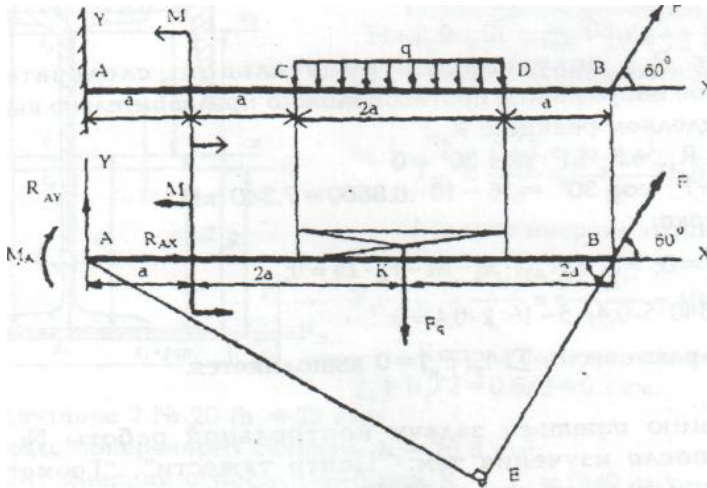
$$\Delta_1 = \frac{|R_1 - R_1^I|}{R_1} \cdot 100 = \frac{|592 - 580|}{592} \cdot 100 = 2.0\%$$

$$\Delta_2 = \frac{|R_2 - R_2^I|}{R_2} \cdot 100 = \frac{|1113 - 1120|}{1113} \cdot 100 = 0,6\%$$



К решению *второй* задачи перейти после изучения тем: "Пара сил", "Плоская система произвольно расположенных сил". Необходимо помнить, что моментом силы относительно точки называется произведение величины (модуля) силы на плечо. Плечом силы называется перпендикуляр, проведенный из точки на линию действия силы или ее продолжение. Момент силы относительно точки считается положительным, если он вращает тело в направлении часовой стрелки, и отрицательным, если против часовой стрелки. Заметим, что момент силы относительно точки равен нулю, если линия действия силы проходит через точку, относительно которой определяют момент данной силы.

Пример № 2



Задание

Для консольной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q , силой F и парой сил с моментом M , определить опорные реакции заделки, если $q = 20$ кН/м, $F = 10$ кН, $M = 5$ кН м, $a = 0,4$ м.

Решение

1. Выбираем систему координат xAy , совмещая ось x с балкой, а ось y , направляя перпендикулярно оси x . Освобождаем балку от связей и прикладываем реакции связей: реактивный момент M_A и составляющие реакции R_A по осям координат R_{Ax} и R_{Ay} .
Равнодействующую равномерно распределенной нагрузки $F_q = q \cdot 2a = 20 \cdot 2 \cdot 0,4 = 16$ кН, приложенную в точке пересечения диагоналей прямоугольника, переносим по линии ее действия в середину участка CD — в точку K .

2. Для полученной плоской системы сил составляем 3 уравнения равновесия и определяем опорные реакции.

2.1 Определяем реактивный момент M_A

$$\sum M_A(F_k) = 0: M_A - M + F_q \cdot 3a - F \cdot AE = 0.$$

Определяем плечо силы F относительно точки A . Для того из точки A опускаем перпендикуляр AE на линию действия силы F . Из ΔABE определяем плечо силы F : $AE = AB \cdot \sin 60^\circ = 5a \cdot \sin 60^\circ = 5 \cdot 4 \cdot 0,8560 = 1,732$ м

2.2 Определяем реакцию R_{Ax}

$$\sum F_{Ax} = 0; R_{Ax} + F \cdot \cos 60^\circ = 0;$$

$$R_{Ax} = -F \cdot \cos 60^\circ = -10 \cdot 0,5 \text{ кН}.$$

Реакция R_{Ax} получилась отрицательной, следовательно, ее действительное направление противоположно предварительно выбранному.

2.3 Определяем реакцию R_{Ay} :

$$\Sigma F_{XY} = 0; R_{AY} - F + F \cdot \cos 30^\circ = 0$$

$$R_{AY} = F_q - F \cdot \cos 30^\circ = 16 - 10 \cdot 0,8660 = 7,340 \text{ кН.}$$

3. Проверка:

$$\Sigma M_B (F_K) = 0; M_A + R_{AY} \cdot 5a - M - F_q \cdot 2a = 0;$$

$$3,120 + 7,340 \cdot 5 \cdot 0,4 - 5 - 16 \cdot 2 \cdot 0,4 = 0$$

Условие равновесия $\Sigma M_B (F_K) = 0$ выполняется.

К решению *третьей* задачи контрольной работы № 1 нужно приступить после изучения тем: "Центр тяжести", "Геометрические характеристики плоских сечений". При определении координат центра тяжести площади сложного сечения следует помнить, что центр тяжести прямоугольника располагается в точке пересечения его диагоналей, а координаты центра тяжести прокатных профилей необходимо определять с помощью таблиц сортаментов, в которых указаны размеры и координаты центра тяжести двутавров, швеллеров и уголков. При расчете на прочность и жесткость деталей, испытывающих кручение и изгиб, а также в расчетах на устойчивость сжатых стержней фигурируют некоторые характеристики, определяющие способность тела сопротивляться деформированию. Такими характеристиками, значения которых зависят от размеров и формы тела, являются моменты инерции сечений. В предлагаемых задачах также требуется определить главные центральные моменты инерции, то есть осевые моменты инерции сечения относительно его главных центральных осей. Напоминаем, что в сечении с двумя осями симметрии эти оси и являются главными центральными; в сечении с одной осью симметрии вторая главная центральная ось проходит через центр тяжести сечения перпендикулярно первой.

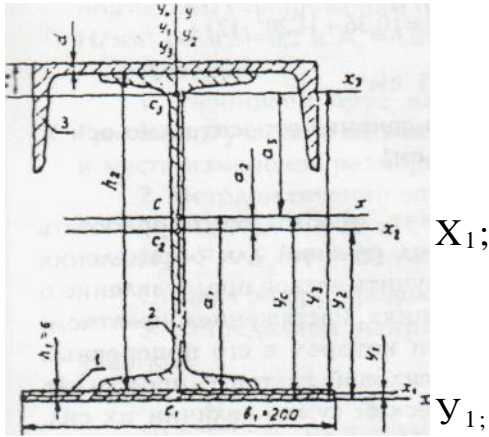
Пример № 3

Задание

Определить главные центральные моменты инерции для поперечного сечения, составленного из листа 1 сечением 6 x 200 мм, двутавра 2 № 20 и швеллера 3 № 18.

Решение

1. Выбираем оси координат X_0 и Y_0 , как показано на рисунке. Для листа вычисляем, а для двутавра и швеллера выбираем из таблиц прокатной стали геометрические характеристики и



необходимые размеры.

Для листа 1.

Площадь поперечного сечения:

$$A_1 = h_1 b_1 = 0,6 \cdot 20 = 12 \text{ см}^2;$$

Момент инерции относительно оси

$$J_{x1} = \frac{b_1 h_1^3}{12} = \frac{20 \cdot 0,6^3}{12} = 0,36 \text{ см}^4$$

Момент инерции относительно оси

$$J_{y1} = \frac{h_1 b_1^3}{12} = \frac{0,6 \cdot 20^3}{12} = 400$$

Координаты центра тяжести $x_1=0$. $y_1 = h_1 / 2 = 0,6/2=0,3$ см.

Для двутавра 2 № 20 ($h_2 = 20$ см)

Площадь поперечного сечения $A_2 = 26,8 \text{ см}^2$;

Момент инерции относительно оси X_2 $J_{k2}=1840 \text{ см}^4$;

Момент инерции относительно оси Y_2 $J_{v2}=115 \text{ см}^4$;

Координаты центра тяжести: $X_2=0$, $Y_2=h_1 + \frac{h_2}{2} = 0,6 + \frac{20}{2} = 10,6$ см

Для швеллера 3 № 18 ($Z_0 = 1,94$ см, $d=0,51$ см)

Площадь поперечного сечения $A_3 = 20,7 \text{ см}^2$;

Момент инерции относительно оси X_3 $J_{X3}=86 \text{ см}^4$;

Момент инерции относительно оси Y_3 $J_{Y3}=1090 \text{ см}^4$;

Координаты центра тяжести: $X_3 = 0$. $Y_3 = h_1 + h_2 + d - Z = 0,6 + 20 + 0,51 - 1,94 = 19,17$ см.

2. Определяем координаты центра тяжести сечения:

$$y_c = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{12 \cdot 0,3 + 26,8 \cdot 10,6 + 20,7 \cdot 19,17}{12 + 26,8 + 20,7} = 11,50 \text{ см}$$

3. Определяем главные центральные моменты инерции сечения.

Одной из главных центральных осей является ось симметрии Y другая главная центральная ось X проходит через центр тяжести S сечения перпендикулярно оси Y . Определяем расстояния между центральными осями X_1 , X_2 и X_3 и главной центральной осью X :

$$a_1 = y_c - y_1 = 11,50 - 0,30 = 11,20 \text{ см};$$

$$a_2 = y_c - y_2 = 11,50 - 10,60 = 0,90 \text{ см};$$

$$a_3 = y_c - y_3 = 19,17 - 11,50 = 7,67 \text{ см}.$$

Главные центральные моменты инерции сечения определяем как алгебраическую сумму моментов инерции его частей.

Главный центральный момент инерции сечения относительно оси X :

$$J_x = (J_{x1} + a_1^2 A_1) + (J_{x2} + a_2^2 A_2) + (J_{sx3} + a_3^2 A_3) = (0.36 + 11.20^2 \cdot 12) + (1840 + 0.90^2 \cdot 26.8) + (86 + 7.67^2 \cdot 20.7) = 4671 \text{ см}^4.$$

Главный центральный момент инерции сечения относительно оси Y: $J_y = J_{y1} + J_{y2} + J_{y3} = 400 + 115 + 1090 = 1605 \text{ см}^4.$

Приступая к решению четвертой задачи, необходимо проработать тему "Растяжение и сжатие", изучить метод сечений для определения внутренних силовых факторов и следует получить четкое представление о видах нагружения, напряжениях, перемещениях. Растяжением (сжатием) называют такой вид деформации бруса, при котором в его поперечных сечениях возникает только один внутренний силовой фактор — продольная сила N, которая численно равна алгебраической сумме величин их сил, действующих на оставленную часть: $N = \sum F$. При растяжении продольная сила положительна, а при сжатии — отрицательна. При растяжении и сжатии в поперечном сечении бруса возникают нормальные напряжения

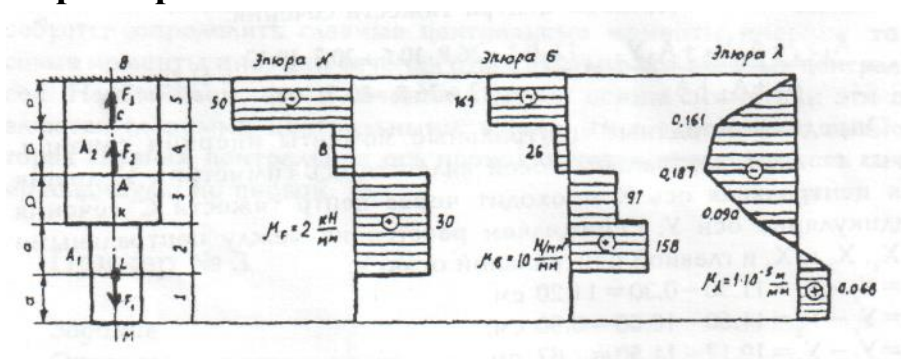
$$\sigma = \frac{N}{A},$$

где A — площадь поперечного сечения бруса. Удлинения (укорочения) отдельных участков бруса определяются по формуле:

$$\Delta l = \frac{N \cdot l}{E \cdot A},$$

где l — длина соответствующего участка, E — модуль упругости 1 рода.

Пример № 4



Задание

Двухступенчатый стальной брус нагружен силами F_1 , F_2 и F_3 . Площади поперечных сечений ступеней A_1 и A_2 . Построить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и перемещений сечений бруса, приняв $E = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$, если $a = 0.2 \text{ м}$. $A_1 = 1.9 \text{ см}^2$.

$A_2=3.1 \text{ см}^2$, $F_1 = 30 \text{ кН}$, $F_2 = 38 \text{ кН}$ и $F_3 = 42 \text{ кН}$.

Решение

1. Разбиваем брус на 5 участков, начиная от свободного конца. Границами участков являются сечения, в которых приложены внешние силы и места изменения размеров поперечного сечения.

2. Методом сечений определяем продольную силу для каждого участка:

$N_1=0$; $N_2=F_2 = 30 \text{ кН}$; $N_3 = F_1 = 30 \text{ кН}$; $N_4 = F_1-F_2 = 30-38 = -8 \text{ кН}$;

$N_5=F_1-F_2-F_3 = 30-38-42=-50 \text{ кН}$.

Строим эпюру продольных сил в масштабе $\mu_F = 2 \text{ кН/мм}$.

3. Определяем напряжения в поперечных сечениях каждого из участков:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = 0; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{A_1} = \frac{30 \cdot 10^3}{1.9 \cdot 10^2} = 158 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}; \quad \sigma_3 = \frac{N_3}{A_2} = \frac{30 \cdot 10^3}{3.1 \cdot 10^2} = 97 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_4 = \frac{N_4}{A_2} = -\frac{8 \cdot 10^3}{3.1 \cdot 10^2} = -2 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}; \quad \sigma_5 = \frac{N_5}{A_2} = -\frac{50 \cdot 10^3}{3.1 \cdot 10^2} = -161 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Строим эпюру нормальных напряжений в масштабе $\mu_\sigma = 10 \text{ Н/мм}^2 \cdot \text{мм}$.

3. Перемещение свободного конца бруса определяем как сумму удлинений (укорочений) участков бруса.

$$\lambda = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 + \Delta l_4 + \Delta l_5.$$

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 \cdot a}{E \cdot A_1} = 0$$

$$\Delta l_2 = \frac{N_2 \cdot a}{E \cdot A_1} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0.2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 1.9 \cdot 10^2} = 0.158 \text{ мм}$$

$$\Delta l_3 = \frac{N_3 \cdot a}{E \cdot A_2} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0.2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 3.1 \cdot 10^2} = 0.097 \text{ мм}$$

$$\Delta l_4 = \frac{N_4 \cdot a}{E \cdot A_2} = -\frac{8 \cdot 10^3 \cdot 0.2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 3.1 \cdot 10^2} = -0.026 \text{ мм}$$

$$\Delta l_5 = \frac{N_5 \cdot a}{E \cdot A_2} = -\frac{50 \cdot 10^3 \cdot 0.2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 3.1 \cdot 10^2} = -0.161 \text{ мм}$$

Перемещение свободного конца бруса: $\lambda = 0.158 + 0.097 - 0.026 - 0.161 = 0.068 \text{ мм}$. Определяем перемещения сечений:

$$\lambda_B = 0; \quad \lambda = \Delta l_5 = -0.161 \text{ мм};$$

$$\lambda_A = \lambda_C + \Delta l_4 = 0.161 - 0.026 = -0.187 \text{ мм};$$

$$\lambda_K = \lambda_A + \Delta l_3 = -0.187 + 0.097 = -0.090 \text{ мм};$$

$$\lambda_L = \lambda_K + \Delta l_2 = -0.090 + 0.158 = 0.068 \text{ мм};$$

$$\lambda_M = \lambda_L = 0,068 \text{ мм};$$

Строим эпюру перемещений сечений бруса в масштабе $\mu_1 = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м/мм}$.

К решению *пятой* задачи следует приступить после изучения темы "Кручение". Кручением называют вид нагружения бруса, при котором в его поперечных сечениях возникает только один внутренний силовой фактор — крутящий момент M_k , который численно равен алгебраической сумме внешних моментов, действующих на оставленную часть: $M_k = \Sigma M$. Внешний момент, направленный по ходу часовой стрелки (при взгляде со стороны проведенного сечения), считается положительным (то есть дает положительный крутящий момент); в противном случае внешний момент отрицателен. При кручении возникают в поперечных сечениях бруса касательные напряжения $\tau = \frac{M_k}{W_p}$, где W_p — полярный момент сопротивления сечения бруса. Углы закручивания отдельных участков бруса определяются по формуле $\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G \cdot J_p}$,

где l — длина соответствующего участка,
 G — модуль упругости II рода (модуль сдвига)
 J_p — полярный момент инерции поперечного сечения бруса.

Пример № 5

Задание

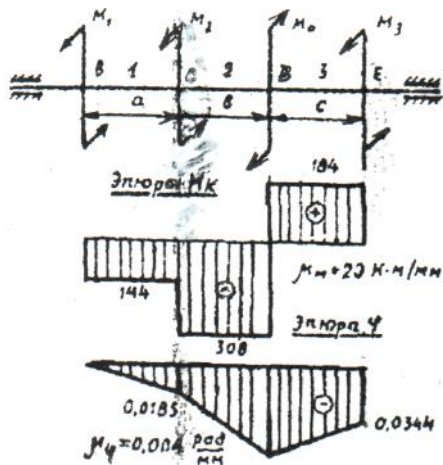
Для заданного вала определить значения внешних скручивающих моментов M_1 , M_2 и M_3 и уравновешивающий момент M_0 . Построить эпюру крутящих моментов по длине вала. Определить длину вала из расчетов по прочности и жесткости. Построить эпюру углов закручивания по длине вала, если $G = 8 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$, $(\tau) = 30 \text{ Н/мм}^2$, $[\varphi_0] = 0,02 \text{ рад/м}$, $\omega = 25 \text{ рад/с}$, $P_1 = 3,6 \text{ кВт}$, $P_2 = 4,1 \text{ кВт}$, $P_3 = 4,6 \text{ кВт}$, $a = b = c = 2,1 \text{ м}$.

Решение

1. Определяем численные значения внешних скручивающих моментов:

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega} = \frac{3600}{25} = 144 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{4100}{25} = 164 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = \frac{P_3}{\omega} = \frac{4600}{25} = 184 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$



Из условия равновесия вала определяем уравнивающий момент M_0 :

$$\sum M = 0; -M_1 - M_2 + M_0 - M_3 = 0$$

$$M_0 = M_1 + M_2 + M_3 = 144 + 164 + 184 = 492 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2. Разбиваем вал на 3 участка. С помощью метода сечений определяем крутящие моменты на каждом участке:

$$M_{K1} = -M_1 = -114 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{K2} = -M_1 - M_2 = -114 - 164 = -308 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{K3} = -M_1 - M_2 + M_0 = -144 - 164 + 492 = 184 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Эпюру крутящих моментов по длине вала строим в масштабе $\mu_m = 20 \text{ Н} \cdot \text{м}/\text{мм}$.

3. Требуемый полярный момент сопротивления

$$W_p \geq \frac{M_{K2}^{\max}}{[\tau]} = \frac{308 \cdot 10^3}{30} = 10.27 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$$

Определяем диаметр вала из расчета на прочность:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W_p}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 10.27 \cdot 10^3}{30}} = 37.4 \text{ мм}^3$$

4. Требуемый полярный момент инерции

$$J_p \geq \frac{M_{K2}}{G[\varphi_0]} = \frac{308 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^4 \cdot 0.02 \cdot 10^{-3}} = 19.25 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

Определяем диаметр вала из расчета на жесткость:

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{32 \cdot J_p}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 19.25 \cdot 10^4}{\pi}} = 37.4 \text{ мм}$$

5. Принимаем диаметр вала $d = 38 \text{ мм}$. Полярный момент инерции:

$$J_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \cdot 38^4}{32} = 20,46 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$$

Определяем углы закручивания участков вала:

Характерными являются те сечения балки, где приложены сосредоточенные силы и моменты, а также сечения, ограничивающие участки с равномерно распределенной нагрузкой. Для построения эпюр Q_y и M_z необходимо использовать правила построения эпюр, приведенные на стр. 287 (1) и на стр. 168 (2).

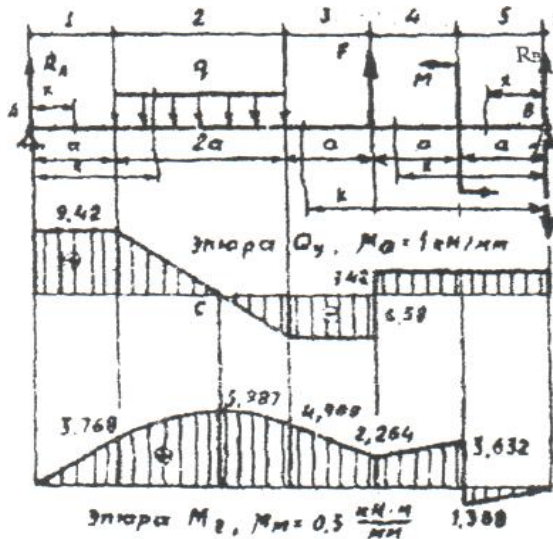
Для подбора сеченая балки из условия прочности определяют

необходимое значение осевого момента сопротивления:

$$W_x \geq \frac{M_{Z_{\max}}}{[\sigma]},$$

где $[\sigma]$ — допускаемое напряжение.

Пример № 6



Задание

Для двухопорной балки определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Найти максимальный изгибающий момент и подобрать необходимые размеры "b" и "h" деревянной балки прямоугольного поперечного сечения, приняв $h=2b$ и $[\sigma]=10\text{Н/мм}^2$, если $q=20\text{ кН/м}$, $F=10\text{ кН}$, $M=5\text{ кН м}$, $a=0.4\text{ м}$.

Решение

1. Определяем реакции опор:

$$\Sigma M_A (F_K) = 0; q \cdot 2a \cdot 2a - F \cdot a - M - R_B \cdot 6a = 0;$$

$$R_B = \frac{q \cdot 4a^2 - F \cdot 4a - M}{6a} = \frac{20 \cdot 4 \cdot 0.4^2 - 10 \cdot 4 \cdot 0.4 - 5}{6 \cdot 0.4} = 3.42 \text{ кН}$$

$$R_B = \frac{q \cdot 8a^2 - F \cdot 2a + M}{6a} = \frac{20 \cdot 8 \cdot 0.4^2 - 10 \cdot 2 \cdot 0.4 + 5}{6 \cdot 0.4} = 9.42 \text{ кН}$$

Проверка: $\Sigma F_{Ky} = 0$; $R_A - q \cdot 2a + F - R_B = 0$; $9.42 - 20 \cdot 2 \cdot 0.4 + 10 - 3.42 = 0$; $0 = 0$

2. Разбиваем балку на 5 участков и определяем поперечную силу Q_y для каждого участка:

$$Q_{y1} = R_A = 9.42 \text{ кН}; Q_{y2} = R_A - q(x-a), \quad \leq x \leq 3a;$$

$$\text{при } x = a \quad Q_{y2} = R_A = 9.42 \text{ кН};$$

$$\text{при } x = 3a \quad Q_{y2} = R_A - q \cdot 2a = 9.42 - 20 \cdot 2 \cdot 0.4 = 6.54 \text{ кН}$$

$$Q_{y3} = R_B - F = 3.42 - 10 = -6.58 \text{ кН};$$

$$Q_{y4} = R_B = 3.42 \text{ кН}; \quad Q_{y3} = Q_{y4} = 3.42 \text{ кН}.$$

Эпюру поперечных сил Q_y строим в масштабе $\mu_Q = 1 \text{ кН/мм}$

3. Определяем положение сечения C, в котором $Q_y = 0$:

$$Q_{yC} = R_A - q(x-a) = 0, \text{ откуда } x_C = R_A/q + a = 9.42/20 + 0.4 = 0.871 \text{ м}.$$

4. Определяем изгибающий момент M_Z для каждого участка:

$$M_{Z1} = R_A \cdot x, \quad 0 \leq x \leq a$$

при $x=0$ $M_{Z1}=0$;

при $x=a$ $M_{Z1} = R_A \cdot a = 9,42 \cdot 0,4 = 3,768$ кН·м.

$M_{Z2} = R_A \cdot x - q(x-a)^2/2$, $a < x < 3a$;

при $x=a$ $M_{Z2} = R_A \cdot a = 9,42 \cdot 0,4 = 3,768$ кН·м;

при $x=3a$ $M_{Z2} = R_A \cdot 3a - q \cdot 2a^2 = 9,42 \cdot 3 \cdot 0,4 - 20 \cdot 2 \cdot 0,4^2 = 4,900$ кН·м;

при $x=x_c$

$$M_{Z2} = R_2 \cdot x_c - \frac{q(x_c a)^2}{2} = 9,42 \cdot 0,871 - \frac{20(0,871 - 0,4)^2}{2} = 5,978$$

$M_{Z3} = -R_{Bx} + M + F(x - 2a)$, $2a \leq x \leq 3a$

при $x=3a$ $M_{Z3} = -R_B \cdot 3a + M + F \cdot a = -3,42 \cdot 3 \cdot 0,4 + 5 + 10 \cdot 0,4 = 4,900$ кН·м;

при $x=2a$ $M_{Z3} = -R_B \cdot 2a + M = -3,42 \cdot 2 \cdot 0,4 + 5 = 2,2$ кН·м.

$M_{Z4} = -R_{Bx} + M$, $a \leq x \leq 2a$;

при $x = 2a$ $M_{Z4} = -R_B \cdot 2a + M = -3,42 \cdot 2 \cdot 0,4 + 5 = 2,264$ кН·м;

при $x = a$ $M_{Z4} = -R_B a + M = -3,42 \cdot 0,4 + 5 = 3,632$ кН·м.

$M_{Z5} = -R_{Bx}$, $0 \leq x \leq a$;

при $x = a$ $M_{Z5} = -R_B a = -3,42 \cdot 0,4 = -1,368$ кН·м;

при $x=0$ $M_{Z5}=0$.

Эпюру изгибающих моментов M_Z строим в масштаб $\mu_M = 0,5$ кН·м/мм

5. Исходя из эпюры изгибающих моментов, $M_{Z_{\max}} = 5,987$ кН·м. Требуемый осевой момент сопротивления при изгибе:

$$W_Z = \frac{M_{Z_{\max}}}{[\sigma]} = \frac{5,987 \cdot 10^6}{10} = 598,7 \cdot 10^3 \text{ мм}.$$

Для прямоугольника момент сопротивления

$$W_Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{b(2b)^2}{6} = \frac{4b^3}{6}, \text{ откуда: ширина сечения}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{6W_Z}{4}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 598,7 \cdot 10^3}{4}} = 96,5 \text{ мм}; \text{ высота сечения } h = 2b = 2 \cdot 96,5 = 193 \text{ мм}.$$

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Вариант контрольного задания определяется по двум последним цифрам номера шифра студента, по таблице (1):

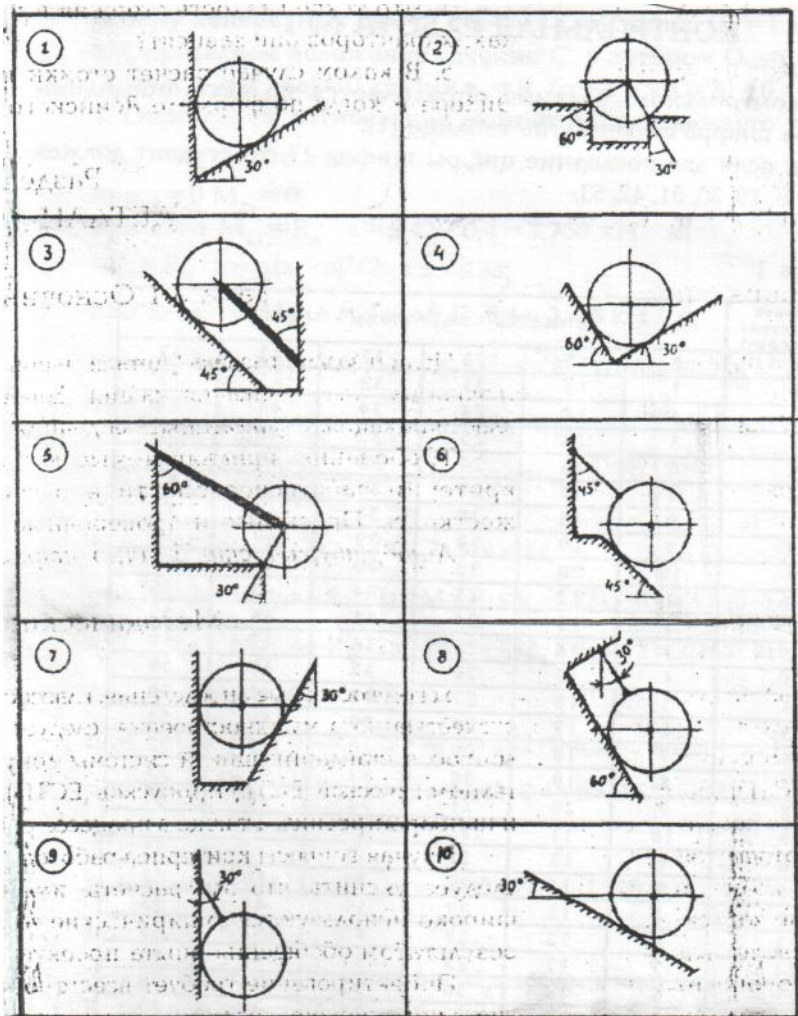
Например, если две последние цифры шифра 17, то студент должен решить задачи: 8, 19, 30, 31, 42, 53. Номер рисунка соответствует последней цифре задачи: 8, 9, 10, 1, 2, 3.

Таблица 1

| № варианта (две последние цифры шифра) | НОМЕРА КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАЧ | | | | | |
|--|--------------------------|----|----|----|----|----|
| | 01 | 2 | 12 | 22 | 32 | 42 |
| 02 | 3 | 13 | 23 | 33 | 43 | 53 |
| 03 | 4 | 14 | 24 | 34 | 44 | 54 |
| 04 | 5 | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 |
| 05 | 6 | 16 | 26 | 36 | 46 | 56 |
| 06 | 7 | 17 | 27 | 37 | 47 | 57 |
| 07 | 8 | 18 | 28 | 38 | 48 | 58 |
| 08 | 9 | 19 | 29 | 39 | 49 | 59 |
| 09 | 1 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 10 | 1 | 12 | 23 | 34 | 45 | 56 |
| 11 | 2 | 13 | 24 | 35 | 46 | 57 |
| 12 | 3 | 14 | 25 | 36 | 47 | 58 |
| 13 | 4 | 15 | 26 | 37 | 48 | 59 |
| 14 | 5 | 16 | 27 | 38 | 49 | 60 |
| 15 | 6 | 17 | 28 | 39 | 50 | 51 |
| 16 | 7 | 18 | 29 | 40 | 41 | 52 |
| 17 | 8 | 19 | 30 | 31 | 42 | 53 |
| 18 | 9 | 20 | 21 | 32 | 43 | 54 |
| 19 | 10 | 11 | 22 | 33 | 44 | 55 |
| 20 | 1 | 13 | 25 | 37 | 49 | 51 |
| 21 | 2 | 14 | 26 | 38 | 50 | 52 |
| 22 | 3 | 15 | 27 | 39 | 41 | 53 |
| 23 | 4 | 16 | 28 | 40 | 42 | 54 |
| 24 | 5 | 17 | 29 | 31 | 43 | 55 |
| 25 | 6 | 18 | 30 | 32 | 44 | 56 |
| 26 | 7 | 19 | 21 | 33 | 45 | 57 |
| 27 | 8 | 20 | 22 | 34 | 46 | 58 |
| 28 | 9 | 11 | 23 | 35 | 47 | 59 |
| 29 | 10 | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 |
| 30 | 1 | 14 | 27 | 40 | 42 | 55 |

Задание 1

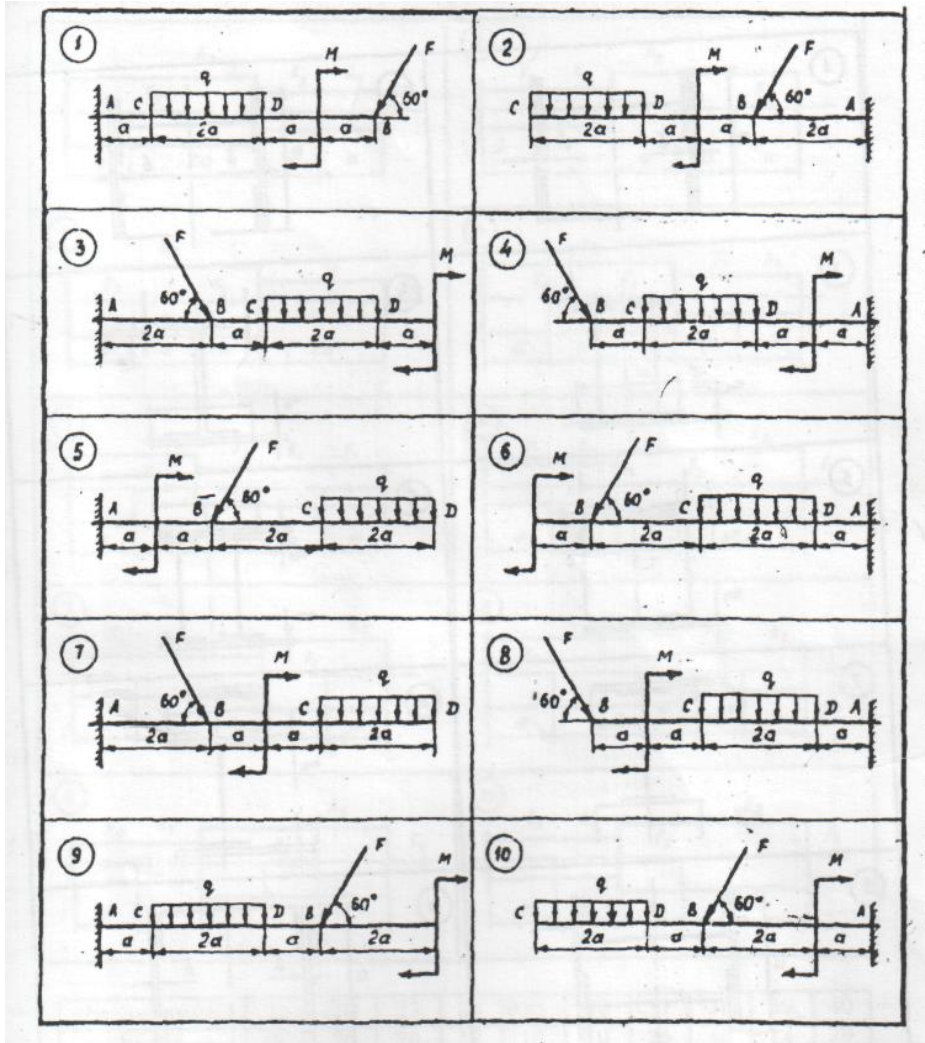
Аналитически и графически определить реакции связей, удерживающих груз силой тяжести G .



| №Задания | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| G, Н | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 |

Задание 2

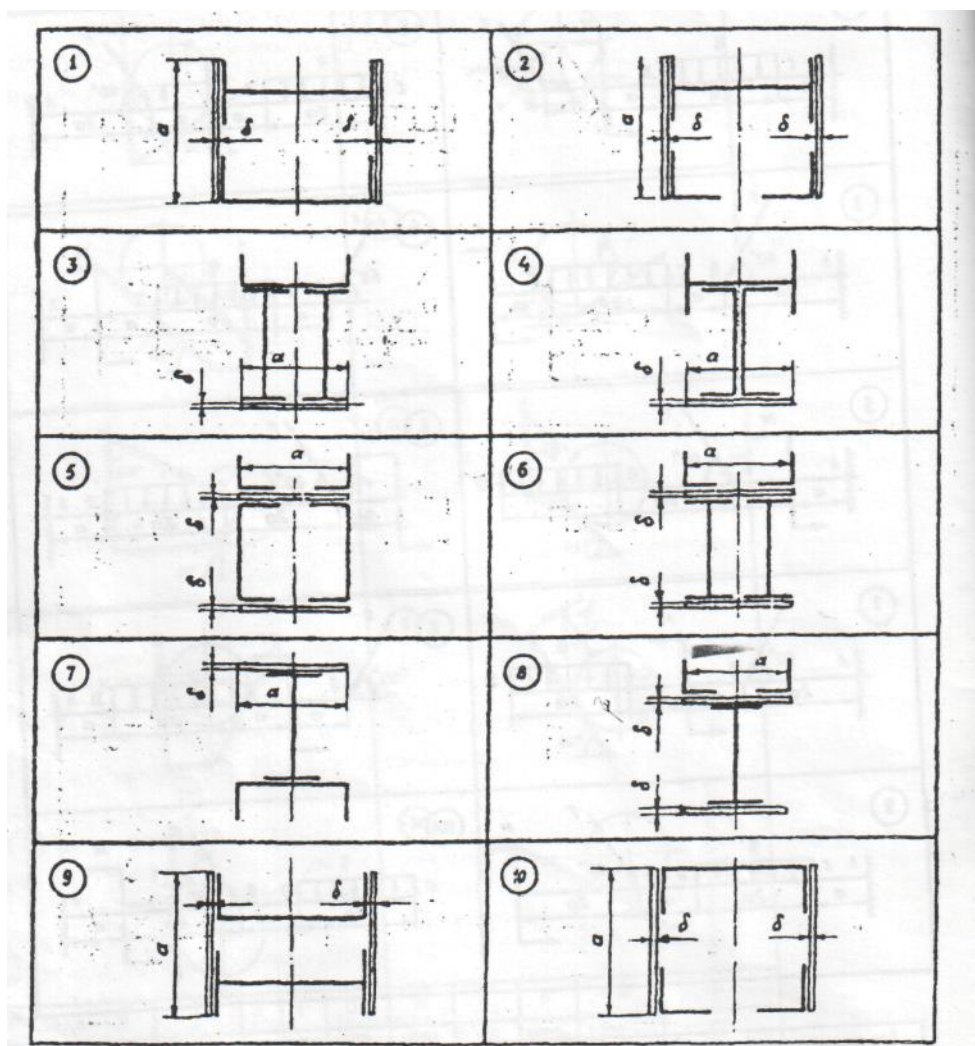
Для консольной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q , силой F и парой сил с моментом M , определить опорные реакции заделки. Силой тяжести балки пренебречь.



| № Задания | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| F, кН | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 26 | 26 | 28 |
| M, кН м | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 19 | 8 | 6 | 6 | 5 |
| q, кН/м | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| a, мм | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |

Задание 3

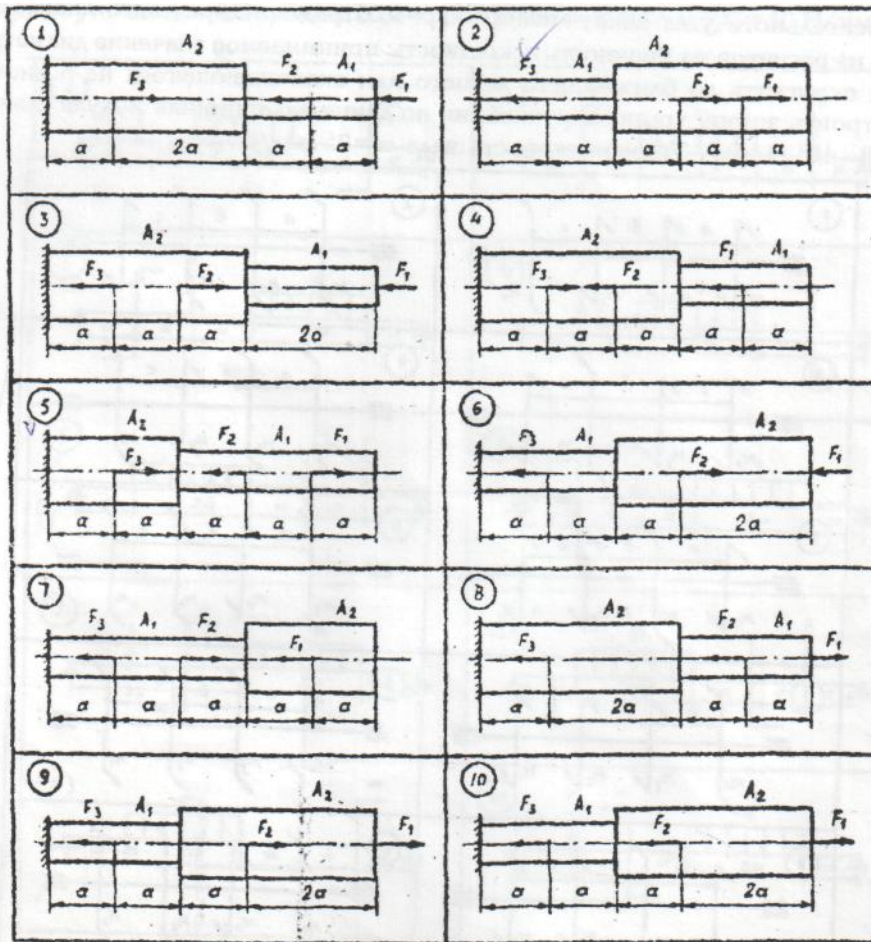
Для заданного поперечного сечения, составленного из приваренных друг к другу прокатных профилей и полос, определить главные центральные моменты инерции.



| | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| № Задания | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| № швеллера | 18 | 18a | 20 | 20a | 22 | 22a | 24 | 24a | 27 | 30 |
| № двутавра | 18 | 18a | 20 | 20a | 22 | 22a | 24 | 24a | 27 | 30 |
| № уголка | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 11 | 11 | 12, 5 | 14 |
| a, мм | 180 | 200 | 200 | 220 | 220 | 240 | 240 | 260 | 270 | 300 |
| a, мм | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 |

Задание 4

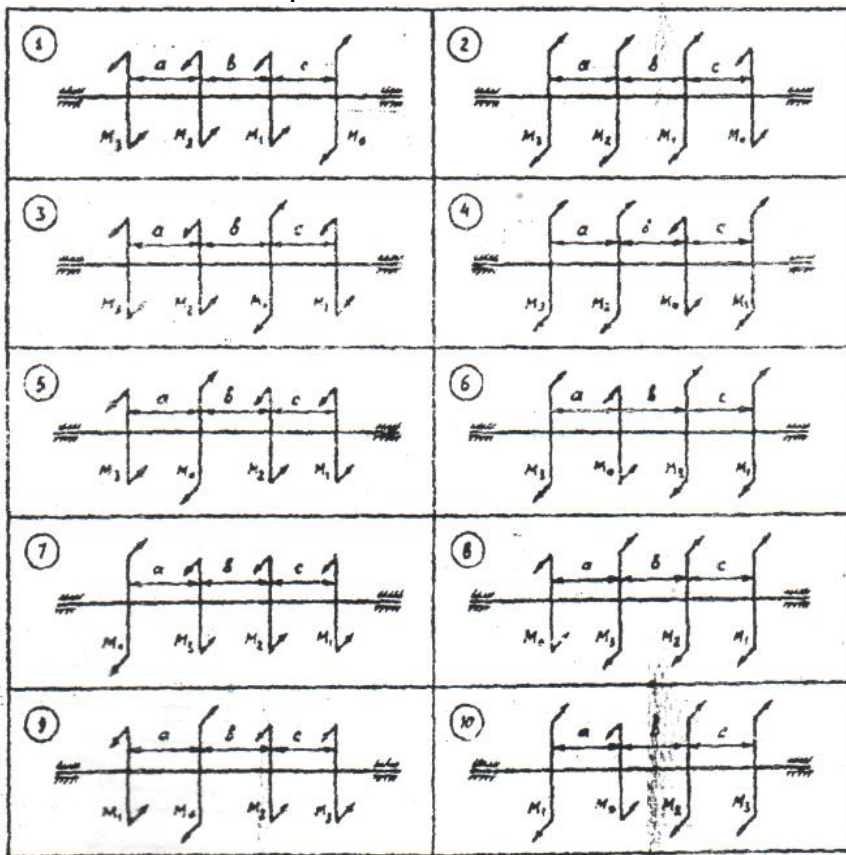
Двухступенчатый стальной брус нагружен силами F_1 , F_2 и F_3 . Площади поперечных сечений ступеней A_1 и A_2 . Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Определить перемещение Δ_1 свободного конца бруса, приняв $E=2 \cdot 10^5$ Н/мм², и построить эпюру перемещений поперечных сечений бруса.



| № Задания | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $F_1, \text{кН}$ | 20 | 26 | 20 | 17 | 16 | 10 | 26 | 40 | 14 | 28 |
| $F_2, \text{кН}$ | 10 | 20 | 8 | 13 | 25 | 12 | 9 | 55 | 16 | 14 |
| $F_3, \text{кН}$ | 5 | 10 | 4 | 8 | 28 | 13 | 3 | 24 | 10 | 5 |
| $A_1, \text{см}^2$ | 1,8 | 1,6 | 1,0 | 2,0 | 1,2 | 0,9 | 1,9 | 2,6 | 2,1 | 1,9 |
| $A_2, \text{см}^2$ | 3,2 | 2,4 | 1,5 | 2,5 | 2,8 | 1,7 | 2,5 | 3,4 | 2,9 | 2,4 |
| $a, \text{м}$ | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 0,6 |

Задание 5

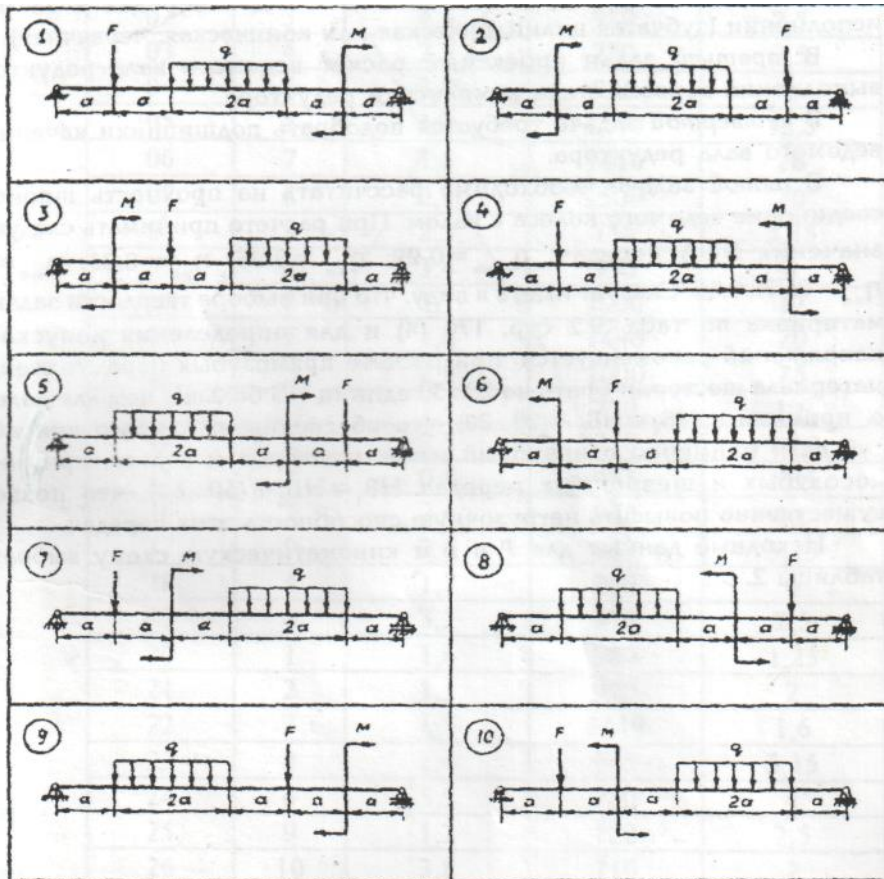
Для стального вала круглого поперечного сечения определить значения внешних скручивающих моментов M_1 , M_2 и M_3 соответствующие передаваемым мощностям P_1 , P_2 и P_3 , и уравнивающий момент M_0 . Построить эпюру крутящих моментов по длине вала. При заданных значениях допускаемого напряжения на кручение $[\tau] = 30 \text{ Н/мм}^2$ и допускаемого относительного угла закручивания $[\varphi] = 0,02 \text{ рад/м}$. Определить диаметры вала из расчетов на прочность и жесткость; принимаемое значение диаметра вала округлить до ближайшего четного или оканчивающегося на 5 числа. Построить эпюру углов закручивания по длине вала, приняв модуль сдвига $G = 8 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$. Угловая скорость вала $\omega = 25 \text{ рад/с}$.



| | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| № Задания | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| $a=b=c$, | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| P_1 , кВт | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 |
| P_2 , кВт | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 |
| P_3 , кВт | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 3,9 | 4,0 |

Задание 6

Для двухопорной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q , силой F и парой сил с моментом M , определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Найти максимальный изгибающий момент и, исходя из условия прочности, подобрать необходимые размеры " b " и " h " деревянной балки прямоугольного поперечного сечения, приняв $h = 2b$ и $[\sigma] = 10 \text{ Н/мм}^2$.



| № Задания | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| F, кН | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| M, кНм | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 |
| q, кН/м | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| a, м | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 |

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Аркуша А. И. Техническая механика. М., 1989.
2. Ицкович Г. М. Сопротивление материалов. М., 1987.
3. Никитин Е. М. Теоретическая механика. М., 1988.
4. Фролов М. И. Техническая механика. М., 1990.
5. Чернилевский Д. В., Лаврова Е. В., Романов В. А. Техническая механика. М., 1982.

Дополнительная

1. Аркуша А. И. Руководство к решению задач по теоретической механике. М., 1978.
2. Винокуров А. И. Сборник задач по сопротивлению материалов. М., 1990.
3. Романов М. Я., Константинов В. А., Покровский Н. А. Сборник задач по деталям машин. М., 1984.

