

Министерство образования и молодежной политики Свердловской области  
Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение  
Свердловской области  
**«Екатеринбургский монтажный колледж»**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**По решению задач практического характера с кратким изложением курса и контрольными заданиями**

**ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ОП.02 «ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»**

Для специальностей очной и заочной формы обучения

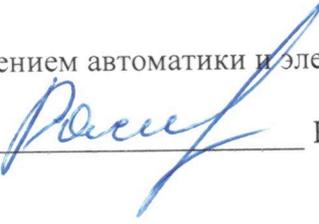
Екатеринбург, 2021

Организация-разработчик: ГАПОУ СО «Екатеринбургский монтажный колледж»

Разработчик: Королева О.И. преподаватель специальных дисциплин

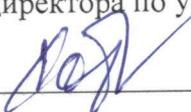
Одобрена:

методическим объединением автоматике и электромеханики

руководитель МО  Расина И.И.

Утверждаю:

Зам. директора по учебной работе

 Хоринова Л.С.

«1» сентября 2021г.

## 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Техническая механика – дисциплина, представляющая собой основу общетехнической подготовки студентов специальностей технического профиля.

Учебная дисциплина ОП.02 «Техническая механика» входит в блок общепрофессиональных дисциплин профессионального цикла.

Методические рекомендации окажут необходимую помощь при изучении курса "Техническая механика" с целью заложить основу технической подготовки студента, необходимую для последующего изучения специальных инженерных дисциплин, а также дать знания и навыки в области механики и строительства необходимые при разработке и эксплуатации машин, приборов, аппаратов и конструкций.

Содержание данного курса регламентируется рабочей программой дисциплины «Техническая механика»

В результате студенты должны иметь навыки:

- использования справочной литературы и стандартов;
- выбора аналога и прототипа конструкции при проектировании;
- проведения инженерных расчетов, проектирования и конструирования элементов металлических конструкций, получение оценок их прочности и жесткости;
- оформления проектной и конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД и ССБТ

Методические рекомендации охватывают основные разделы курса "Техническая механика".

В процессе применения данных методических рекомендаций студент:

- приобретает, систематизирует и закрепляет знания правил и норм проектирования на основе полученных знаний по всем предшествующим общеобразовательным и общетехническим дисциплинам;
- анализирует назначение и условия работы всех деталей проектируемого изделия;
- прорабатывает наиболее рациональные конструктивные решения с учетом технологических, монтажных и экономических требований;
- производит кинематические, силовые и прочностные расчеты изделия;
- решает вопросы, связанные с выбором материалов деталей и их термообработки, а также вопросы по выбору наиболее технологичных форм деталей;
- продумывает процесс сборки и разборки изделия.

При этом студент должен работать с действующими стандартами и со справочной литературой.

Знания и навыки, приобретенные студентами, будут служить им базой при выполнении курсовых проектов по профилирующим дисциплинам.

## 2. ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ УЧЕБНЫХ ИЗДАНИЙ, ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Завистовский, В. Э. Техническая механика : учебное пособие / В.Э. Завистовский. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 376 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-015256-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1190673>– Режим доступа: по подписке.
2. Сафонова, Г. Г. Техническая механика : учебник / Г.Г. Сафонова, Т.Ю. Артюховская, Д.А. Ермаков. - Москва : ИНФРА-М, 2020. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-012916-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1074607>– Режим доступа: по подписке.
3. Олофинская, В. П. Техническая механика. Сборник тестовых заданий : учебное пособие / В.П. Олофинская. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. — 132 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-91134-492-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1078979> – Режим доступа: по подписке.
4. Олофинская, В. П. Детали машин. Основы теории, расчета и конструирования : учебное пособие / В.П. Олофинская. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. — 72 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-00091-541-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1190665>– Режим доступа: по подписке.
5. Техническая механика. Курсовое проектирование : учебное пособие / Д.Н. Бахарев, А.А. Добрицкий, С.Ф. Вольвак, В.Д. Несвит. — 2-е изд., стер. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 236 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-015658-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1045057>– Режим доступа: по подписке.
6. Березина, Е. В. Сопротивление материалов: учебное пособие / Е.В. Березина. - Москва : Альфа-М: ИНФРА-М, 2010. - 208 с.: ил.; . - (ПРОФИЛЬ). ISBN 978-5-98281-201-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/191214>– Режим доступа: по подписке.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

#### РАЗДЕЛ 1. СТАТИКА

##### Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики. Связи и их реакции.

Для лучшего усвоения необходимо вспомнить, полученные ранее знания из физики и математики: материальная точка, твердое тело, сила, система сил, эквивалентные системы сил, равнодействующая и уравнивающая силы, вектора и действия, выполняемые с векторами (сложение и вычитание). Необходимость представлять и видеть сходства и отличия между равнодействующей и уравнивающей силами (одна и та же линия действия, равенство числовых значений, в противоположные стороны направлены) - имеет важное значение. Аксиомы статики - справедливы для абсолютно твердых тел. Следует обратить внимание на - допустимость переноса силы вдоль линии ее действия.

Закон действия и противодействия (3-й закон Ньютона)- силы приложены к разным телам; физический смысл закона - удар рукой по столу.

Связи и их реакции: книга лежит на поверхности стола, стол не дает книге упасть на пол, книга - твердое тело, стол – связь - тело, которое мешает другому телу совершать движение в пространстве (плоскости) см. рис.№1.

Реакция стола

**F**

Сила действия книги

**G**

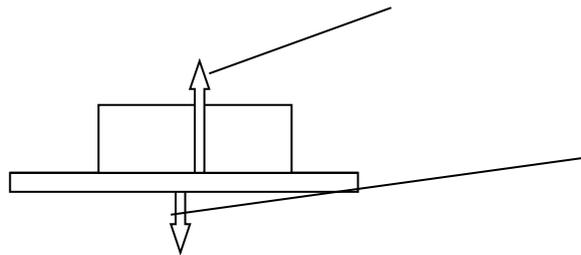


Рис.1

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Что изучает техническая механика?
2. Что изучают статика, кинематика, динамика?
3. Что такое материя?
4. Что называется материальной точкой?
5. Что такое материя?
6. Понятие абсолютно твердого тела?
7. Сила, знак силы, обозначение, единицы измерения, сила - как вектор?
8. Связь, реакции связей - в зависимости от опоры?
9. Какое тело называется свободным?
10. Принцип освобожденности от связей, метод вырезания узлов?

##### Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил.

Понятие данной темы имеет особую важность, так как достаточно полное и глубокое ее усвоение обеспечит сравнительную легкость для восприятия последующего материала.

В изучении данной темы необходимо научиться находить проекции вектора силы на оси координат, осознать понятие о продольной силе, действующей вдоль центральной оси, научиться определять внутренние усилия в стержневой системе (графическим, аналитическим), составлять уравнения равновесия (система уравнений), уяснить последовательный ход решения задач.

ХОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ (СТЕРЖНЕВАЯ СИСТЕМА) Метод вырезания узлов.

- Уяснить условие задачи;
- Определить недостающие углы;
- Определить точку или тело, равновесие которой следует рассмотреть;
- Вырезать узел (точку или тело считать свободным, отбросив связи, заменив их соответствующими реакциями)
- На чистом листе бумаги показать соответствующую точку, отложить соответствующие реакции связей (силы), рационально выбрать оси отсчета, определить проекции векторов сил на оси, составить уравнения равновесия.

**Пример №1.** Для плоской стержневой системы (рис.2) определить внутренние реакции стержней, где  $G=50$  кН.

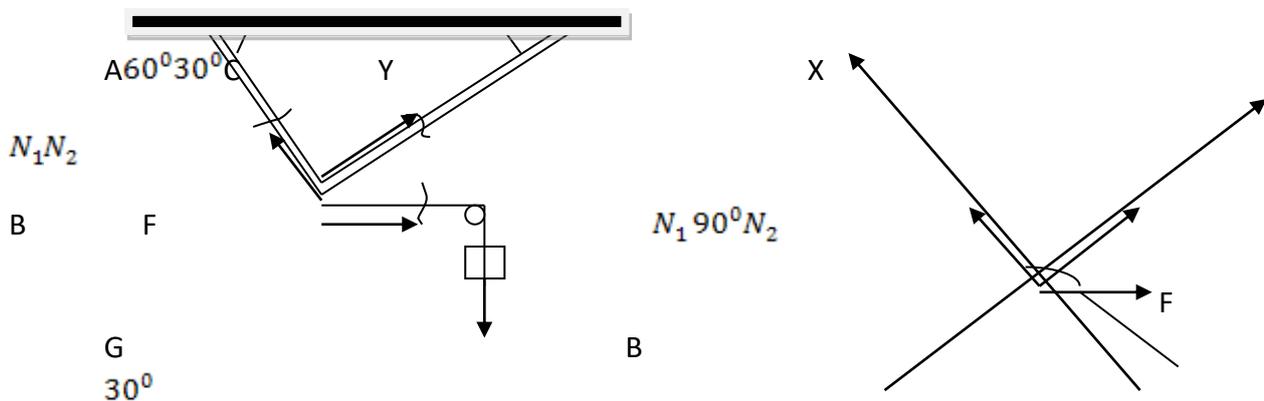


Рис.2

РЕШЕНИЕ:

- 1) Исходя из условия, необходимо определить внутренние реакции в стержнях. Для этого обозначим соответствующие узлы буквами А,В,С и рассмотрим равновесие точки В (стержни АВ, ВС и подвеску груза мысленно разрежем – волнистой линией, и вдоль них от точки "В" до разреза направим внутренние усилия  $-N_1, N_2$  и  $F$ ).
- 2) Пользуясь знаниями, полученными в математике, сумма углов в треугольнике равна  $180^\circ$ ; правилом  $\parallel$  прямых и прямой проведенной между ними, углы, в сопряжении которых равны (угол  $B=90^\circ$ , угол между векторами  $N_2$  и  $F$  равен  $30^\circ$ ).
- 3) На чистом листе бумаги показываем точку В, к данной точке прикладываем соответствующие реакции связей (силы), так как стержни АВ и ВС взаимно перпендикулярны, рационально выбрать оси отсчета, проходящие по этим стержням.
- 4) Для данной плоской системы сходящихся сил, определяем проекции векторов сил на оси X и Y. Составляем уравнения равновесия (суммы проекций всех сил на оси X, Y):

$$\sum X = N_1 - F \cos 60^\circ = 0; N_1 = F \cos 60^\circ = 50 * 0.5 = 25 \text{ кН}$$

$$\sum Y = N_2 + F \cos 30^\circ = 0; N_2 = -F \cos 30^\circ = -50 * 0.87 = -43.5 \text{ кН}$$

$$N_1 = 25 \text{ кН}; N_2 = -43.5 \text{ кН.}$$

**ПРОВЕРКА РЕШЕНИЯ:** Рисуем силовой многоугольник из сил  $N_1, N_2$  и  $F$ . Построение выполняем в соответствующем выбранном масштабе, конец последнего должен совпасть с началом первого. (см. рис.3).

Масштаб 1см=10кН. Замерив, модули векторов  $N_1, N_2$ . получим:

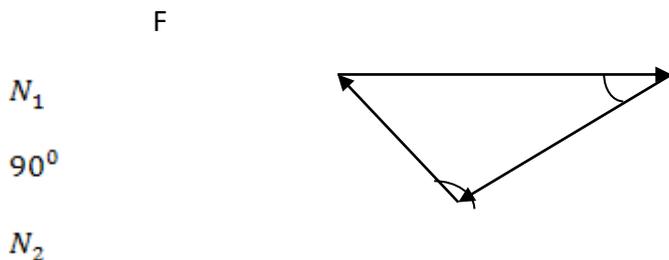


Рис. 3

$$N_1 = 25 \text{ кН}; N_2 = 43.5 \text{ кН}.$$

**Вопросы для самоконтроля.**

1. Назовите правила сложения векторов методом треугольника и параллелограмма в чем их разница?
2. Как найти проекцию вектора на ось?
3. Как определить знак проекции?
4. В чем заключаются геометрическое и аналитическое условия равновесия плоской системы сходящихся сил?

Тема 1.3 Пара сил.

При рассмотрении данной темы следует обратить внимание на основные понятия: Момент пары – система 2-х параллельных сил, равных по модулю и направленных в противоположные стороны;

Момент силы относительно точки – произведение величины (модуля) этой силы  $F$  на кратчайшее расстояние от этой точки до линии действия этой силы.

Следует отметить, что момент силы необходимо связывать с вращательным действием силы на тело (по часовой стрелке – «положительно»; против часовой стрелки – «отрицательно»); Действие пары сил определяется только ее моментом, а уравновесить пару можно только другой парой сил, направленную в противоположную сторону; При обозначении момента необходимо указывать относительно какой точки определяется момент:

$$M_A = \pm F * l \quad , \text{ где } l \text{ – расстояние от точки } A \text{ до линии действия силы } F.$$

Физический смысл момента пары сил можно представить в виде – руля автомобиля;

Физический смысл момента силы относительно точки можно представить в виде – открывания двери проворачивая ее вокруг шарнира, являющейся неподвижной точкой (осью).

**Вопросы для самоконтроля.**

1. Какие две силы образуют пару сил?
2. Какое движение сообщает телу пара сил?
3. Что понимают под моментом пары сил?
4. Что понимают под моментом силы относительно точки?
5. Как определяется знак момента?
6. В каком случае момент силы относительно точки будет равен нулю?
7. Назовите основные свойства пар?

## Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил.

Данная тема является основной ступенью в усвоении навыков решения задач, полученных при изучении предыдущих тем, которые здесь получают дальнейшее развитие.

Плоская система произвольно расположенных сил, рассматривает ход решения задач на определение опорных реакций балок на двух опорах и балок с защемленным концом (консоль) при различных сочетаниях нагрузок: сосредоточенная сила-  $F$ , момент -  $M$ , равномерно распределенная нагрузка-  $q$ .

Для решения задач на определение опорных реакций следует составлять три уравнения реакций:

*Балка на двух опорах*- $\sum X_i = 0$ ;  $\sum M_A(F_i) = 0$ ;  $\sum M_B(F_i) = 0$ .

Для проверки правильности определения реакций в опорах используют- $\sum Y_i = 0$ .

*Консольная балка*- $\sum X_i = 0$ ;  $\sum Y_i = 0$ ;  $\sum M_A(F_i) = 0$ ; Точку А выбирают в опоре.

Для проверки правильности определения реакций в опоре используют уравнение моментов всех сил относительно любой другой характерной точки, лежащей на балке -  $\sum M_B(F_i) = 0$ ;

Частный случай - решение задач на равновесие плоской системы параллельных сил, когда допускается использовать оба вида уравнений равновесия:

1 способ  $\sum X_i = 0$ ;  $\sum Y_i = 0$ ;  $\sum M_A(F_i) = 0$ ; Проверка  $\sum M_B(F_i) = 0$ ;

2 способ  $\sum M_A(F_i) = 0$ ;  $\sum M_B(F_i) = 0$ . Проверка  $\sum Y_i = 0$ .

**Пример №2.** Определить реакции опор балки (рис.4).

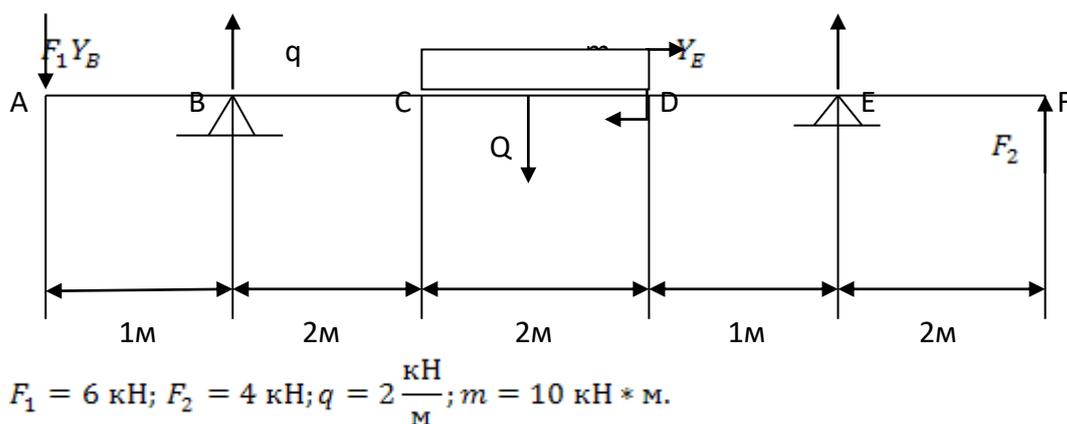


Рис.4

Ход решения задачи:

- Уяснить условие задачи, если имеется равномерно распределенная нагрузка- $q$ , необходимо определить сосредоточенную силу от равномерно распределенной нагрузки-  $Q = q \cdot l$ ,  $l=2\text{м}$  - расстояние, на котором действует равномерно распределенная нагрузка.  $Q = q \cdot l = 2 \cdot 2 = 4 \text{ кН}$ ; Обозначим характерные участки балки, где приложены нагрузки буквами (А, В, С, ...).
- Задача имеет частный случай, поэтому будем составлять уравнения равновесия для параллельных сил:

Составляем уравнения реакций опор балки

$$\sum M_B(F_i) = 0; \sum M_E(F_i) = 0. \text{Проверка } \sum Y_i = 0.$$

Из первого уравнения определяем реакцию в опоре Е,

Из второго уравнения определяем реакцию в опоре В

$$\sum M_B = -F_1 \cdot 1 + Q \cdot 3 + m - Y_E \cdot 5 - F_2 \cdot 7 = 0;$$

$$-6 * 1 + 4 * 3 + 10 - Y_E * 5 - 4 * 7 = 0; Y_E = -2.4 \text{ кН.}$$

$$\sum M_E = -F_1 * 6 - Q * 2 + m + Y_B * 5 - F_2 * 2 = 0;$$

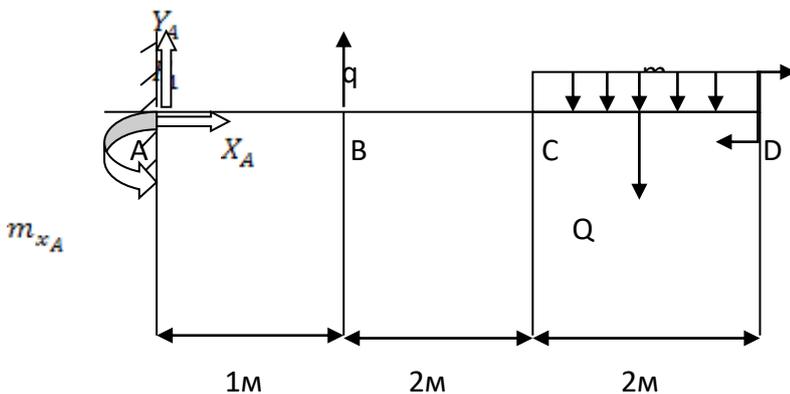
$$-6 * 6 - 4 * 2 + 10 + Y_B * 5 - 4 * 2 = 0; Y_B = 8.4 \text{ кН}$$

$$Y_E = -2.4 \text{ кН}; Y_B = 8.4 \text{ кН}$$

3. Проверка решения:  $\sum Y_i = -F_1 + Y_B - Q + Y_E + F_2 = -6 + 8.4 - 4 + (-2.4) + 4 = 0$

Проверка пришла к нулю убеждаемся в правильности решения.

**Пример №3.** Определить реакции опоры консольной балки (рис.5).



$$F_1 = 10 \text{ кН}; q = 4 \frac{\text{кН}}{\text{м}}; m = 15 \text{ кН} * \text{м.}$$

Рис.5

Ход решения задачи:

1. Уяснить условие задачи. Если имеется равномерно распределенная нагрузка- $q$ , необходимо определить сосредоточенную силу от равномерно распределенной нагрузки.  $Q = q * l$ ,  $l=2\text{м}$  - расстояние, на котором действует равномерно распределенная нагрузка.  $Q = q * l = 4 * 2 = 8 \text{ кН}$ .
2. Обозначим характерные участки балки, где приложены нагрузки буквами (A B C ...). Консольная балка представляет собой - балку с жесткой заделкой (точка A) - опора, в которой возникают три неизвестные силы  $X_A, Y_A, m_{x_A}$ .
3. Задача имеет частный случай, поэтому будем составлять уравнения равновесия для параллельных сил:

$$\sum X_i = 0; \sum Y_i = 0; \sum M_A(F_i) = 0; \text{Проверка } \sum M_D(F_i) = 0;$$

Из первого уравнения определяем реакцию в опоре  $X_A$ ,

Из второго уравнения определяем реакцию в опоре  $Y_A$

Из третьего уравнения определяем момент в опоре  $m_{x_A}$

$\sum X_i = 0; X_A = 0$ , так как все нагрузки проецируются на ось X под углом  $90^\circ$  и равны нулю (наклонных сил нет);

$$\sum Y_i = 0; Y_A + F_1 - Q = 0; Y_A = -F_1 + Q = -10 + 8 = -2 \text{ кН};$$

$$\sum M_A = -m_{x_A} - F_1 * 1 + Q * 4 + m = 0;$$

$$-m_{x_A} - 10 * 1 + 8 * 4 + 15 = 0; m_{x_A} = 37 \text{ кН.}$$

$$X_A = 0; Y_A = -2 \text{ кН}; m_{x_A} = 37 \text{ кН.}$$

Проверка решения:

$$\sum M_D = -m_{x_A} + Y_A * 5 + X_A * 0 + F_1 * 4 - Q * 1 + m = -37 + (-2) * 5 + 0 * 0 + 10 * 4 - 8 * 1 + 15 = 0$$

Проверка пришла к нулю убеждаемся в правильности решения.

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. В чем разница между плоской системой произвольно расположенных сил и плоской системой параллельных сил?
2. Какие уравнения равновесия составляют для консольной балки и балки на двух опорах?
3. Для чего составляют уравнения равновесия для проверки опорных реакций в консольной балке и балке на двух опорах?
4. Что понимают под консольной балкой, на что она похожа?

## Тема 1.5 Пространственная система сил.

При изучении данной темы следует обратить внимание на:

- понятие Пространственный вектор;
- определение проекций пространственного вектора на ось;
- момент силы относительно оси;
- три уравнения равновесия для пространственной системы сходящихся сил:

$$\sum X_i = 0; \sum Y_i = 0; \sum Z_i = 0.$$

-шесть уравнений равновесия для произвольной пространственной системы сил:

$$\sum X_i = 0; \sum Y_i = 0; \sum Z_i = 0.$$

$$\sum M_x(F_i) = 0; \sum M_y(F_i) = 0; \sum M_z(F_i) = 0.$$

-частный случай три уравнения равновесия для пространственной системы параллельных сил:

$$\sum F_i = 0; \sum M_x(F_i) = 0; \sum M_y(F_i) = 0.$$

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Какие системы сил в пространстве вы знаете?
2. Как найти проекцию пространственного вектора на ось?
3. Как найти момент пространственного вектора относительно оси?
4. При каких условиях момент силы относительно оси равен нулю?

## Тема 1.6 Трение.

Данная тема изучается обзорно, и требуется для восстановления в памяти знаний полученных в физике; Следует обратить внимание на:

- процесс трения скольжения;
- самоторможение, условие при котором оно происходит;
- понятие трения качения;
- коэффициент трения и его размерности.

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Что называется трением скольжения?

2. Законы трения скольжения?
3. Какая зависимость между коэффициентами трения?

### Тема 1.7 Устойчивость равновесия.

При изучении темы, необходимо обратить внимание при каких условиях твердое тело может находиться в устойчивом, неустойчивом и безразличном равновесии, коэффициент равновесия и его значение.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Какое равновесие твердого тела называется устойчивым, неустойчивым и безразличным?
2. При каком условии равновесие твердого тела, имеющего точку опоры или ось вращения, устойчивое. При каком - неустойчивое, при каком - безразличное? Приведите примеры.
3. Сформируйте условие равновесия для тела, опирающегося на плоскость.
4. Что такое коэффициент устойчивости тела, имеющего плоскость опоры, чему он равен?

### Тема 1.8 Центр тяжести.

При изучении данной темы следует уделить внимание таким вопросам как:

- Простые плоские геометрические фигуры (квадрат, прямоугольник, треугольник, круг, кольцо; Сечения листового проката - двутавр, швеллер, равнобокий и неравнобокий уголок).
- Понятие о поперечном разрезе (сечения).
- Понятие о геометрических характеристиках сечений (линейные размеры, площадь, центр тяжести, статический момент, момент инерции, момент сопротивления, радиус инерции) их размерность.
- Зависимость геометрических характеристик сечений от осей, относительно которых они определяются (X, Y).
- Понятие о сложном сечении.
- **Методике решения задач по определению центра тяжести:**

1. Разбиваем сечение сложной фигуры на простые (профиля проката) и обозначаем их цифрами.
2. Центры тяжести простых фигур обозначаем буквами:  $C_1, C_2, C_3, \dots$  (для профилей проката используют ГОСТ), проводим через каждый центр оси X и Y.
3. Рационально выбираем систему координат (желательно фигуру разбить симметрично, одну ось Y- проводим через центр тяжести простой фигуры, другую X - перпендикулярно ей).
4. Составляем формулы для определения центра тяжести сложной фигуры  $X_C, Y_C$  (если ось симметрии совмещена с осью Y то  $X_C = 0$ , если с X то  $Y_C = 0$ ).
5. Указываем на схеме центр тяжести сложной фигуры C и проводим оси  $X_C, Y_C$ .
6. Делаем проверку, изменяем положение системы координат  $X^1$  и  $Y^1$ , выполняем пункты с 3 по 5- ЕГО ПОЛОЖЕНИЕ ДОЛЖНО БЫТЬ НЕ ИЗМЕННЫМ.

**Пример №4.** Найти центр тяжести сложной фигуры (см. рис.6), где:  
 $h = 40$  см.,  $l = 50$  см.,  $b = 30$  см.,  $r = 5$  см.

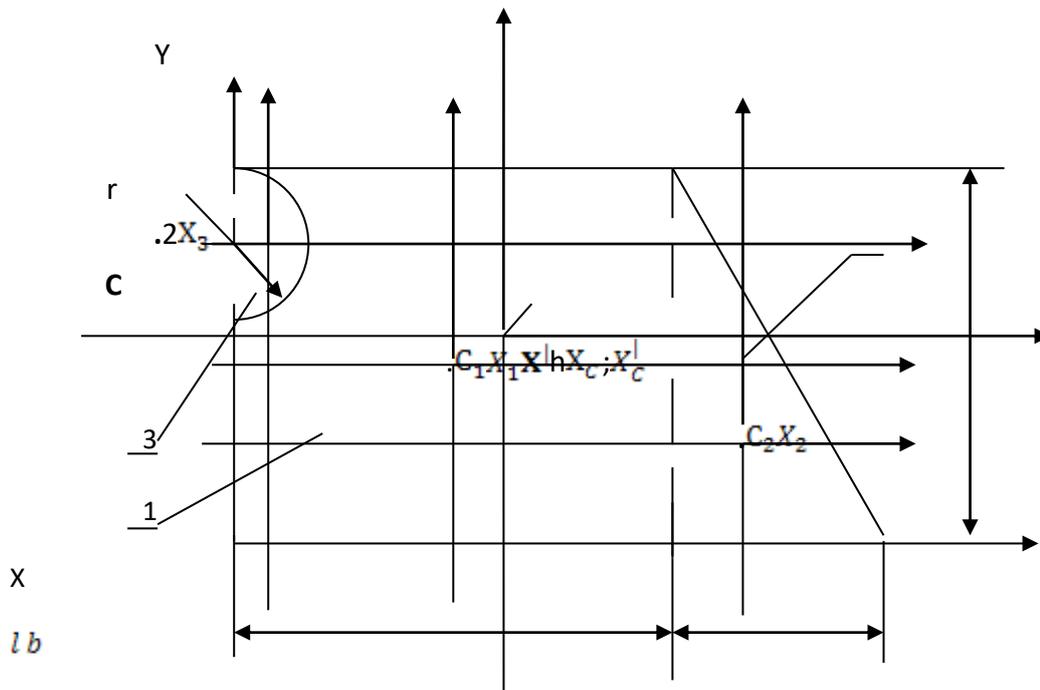


Рис. 6

Ход решения задачи:

1. Разбиваем сечение сложной фигуры на простые: прямоугольник (1), треугольник (2), полукруг (3). Определяем площади соответствующих фигур:

$$A_1 = h * l = 40 * 50 = 2000 \text{ см}^2; \quad A_2 = \frac{b * h}{2} = \frac{30 * 40}{2} = 600 \text{ см}^2; \quad A_3 = \frac{\pi r^2}{2} = \frac{3.14 * 5^2}{2} = 39.25 \text{ см}^2$$

2.  $C_1; C_2; C_3$  - Центры тяжести простых фигур, через которые проведены соответствующие оси (характерные для каждой фигуры).
3. Определяем положения центров тяжести простых фигур относительно осей X и Y

(  
 $x_1, x_2, x_3$  - расстояния от центров  $C_1, C_2, C_3$  до оси Y;  $y_1, y_2, y_3$  -  
 расстояния от центров  $C_1, C_2, C_3$  до оси X).

$$x_1 = \frac{l}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ см};$$

$$x_2 = l + \frac{b}{3} = 50 + \frac{30}{3} = 60 \text{ см};$$

$$x_3 = \frac{4 * r}{3 * \pi} = \frac{4 * 5}{3 * 3.14} = 2.12 \text{ см}.$$

$$y_1 = \frac{h}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ см};$$

$$y_2 = \frac{2 * h}{3} = \frac{2 * 40}{3} = 26.6 \text{ см};$$

$$y_3 = h - r = 40 - 5 = 35 \text{ см}.$$

4. Определяем координаты центра тяжести:

$X_C = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i * x_i}{\sum A_i}; \quad Y_C = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i * y_i}{\sum A_i}$ ; где:  $S_y, S_x$  - статический момент относительно оси (X и Y соответственно).

$$X_C = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i * x_i}{\sum A_i} = \frac{2000 * 25 + 600 * 60 - 39.25 * 2.12}{2000 + 600 - 39.25} = 33.55 \text{ см.}$$

$$Y_C = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i * y_i}{\sum A_i} = \frac{2000 * 20 + 600 * 26.6 - 39.25 * 35}{2000 + 600 - 39.25} = 21.31 \text{ см.}$$

**Примечание.** При составлении формул центра тяжести сложной фигуры, необходимо определить, имеется ли в составе сложной фигуры, вырезанные фигуры (в нашем случае - это полукруг), и все действия с данной фигурой необходимо вычитать.

5. Указываем на схеме центр тяжести сложной фигуры С и проводим оси  $X_C, Y_C$ .

6. Проверка решения.

А) Определяем положения центров тяжести простых фигур относительно осей  $X^I$  и  $Y^I$

$$x_1 = 0 \text{ см;}$$

$$x_2 = \frac{l}{2} + \frac{b}{3} = \frac{50}{2} + \frac{30}{3} = 35 \text{ см;} \quad x_3 = -\frac{l}{2} + \frac{4 * r}{3 * \pi} = -\frac{50}{2} + \frac{4 * 5}{3 * 3.14} = -22.88 \text{ см.}$$

$$y_1 = 0 \text{ см;}$$

$$y_2 = -\frac{h}{2} + \frac{2 * h}{3} = -\frac{40}{2} + \frac{2 * 40}{3} = 6.6 \text{ см;} \quad y_3 = \frac{h}{2} - r = \frac{40}{2} - 5 = 15 \text{ см.}$$

Б) Определяем координаты центра тяжести:

$X_C = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i * x_i}{\sum A_i}; \quad Y_C = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i * y_i}{\sum A_i}$ ; где:  $S_y, S_x$  - статический момент относительно оси (X и Y соответственно).

$$X_C^I = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i * x_i}{\sum A_i} = \frac{2000 * 0 + 600 * 35 - 39.25 * (-22.88)}{2000 + 600 - 39.25} = 8.55 \text{ см.}$$

**Примечание.** Если провести следующие действия:

$X_C^I - X_C = 8.55 - 33.55 = -25 \text{ см;}$   $Y_C^I - Y_C = 1.31 - 21.31 = -20 \text{ см.}$ , то мы убедимся, что положение начальных осей отсчета, относительно центра тяжести сложной фигуры не поменялось, что говорит о правильности решения.

**Ответ:**  $X_C = 33.55 \text{ см;}$   $Y_C = 21.31 \text{ см.}$

**Пример №4.** Определить положение центра тяжести составного сечения, состоящего из: двутавра №20, швеллера №20. (см. рис.7)

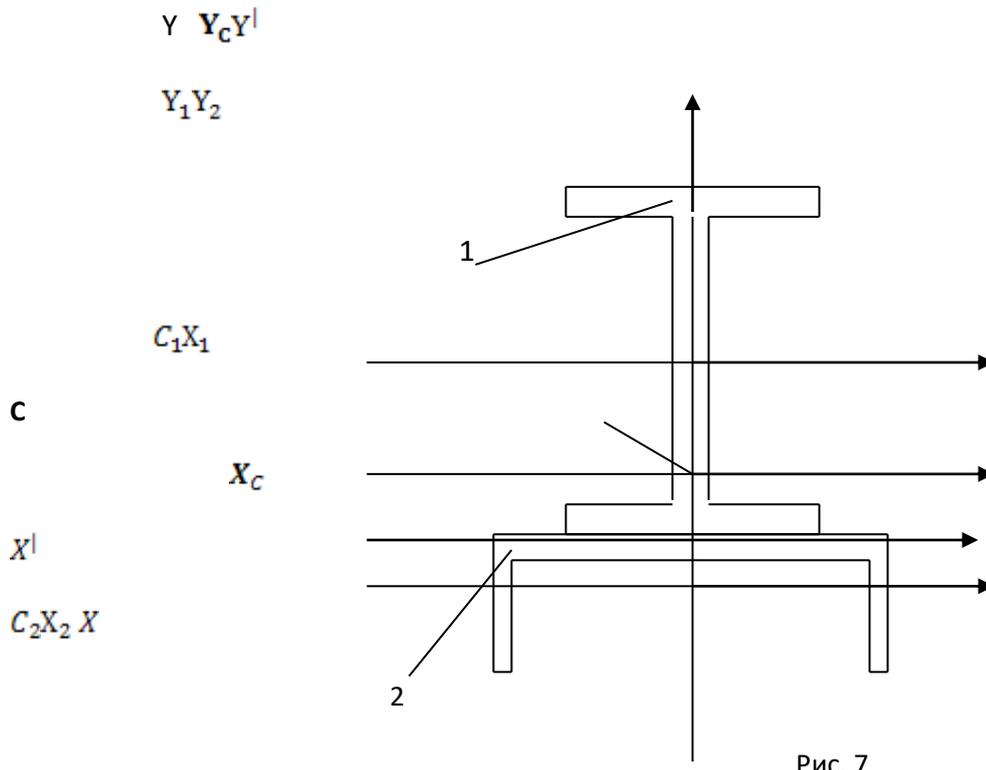


Рис. 7

1. Разбиваем сечение сложной фигуры на простые: двутавр (1), швеллер(2).
2. Пользуясь выпиской из ГОСТ, определяем площади соответствующих фигур:  
 $A_1 = 26.8 \text{ см}^2$ ;  $A_2 = 23.40 \text{ см}^2$ ;
3.  $C_1$ ;  $C_2$ ; - Центры тяжести простых фигур, через которые проведены соответствующие оси (характерные для каждой фигуры).
4. Определяем положения центров тяжести простых фигур относительно осей X и Y, которые совместим с центром тяжести швеллера  
 $(x_1, x_2 - \text{расстояния от центров } C_1, C_2 \text{ до оси } Y$ ;  
 $y_1, y_2, - \text{расстояния от центров } C_1, C_2 \text{ до оси } X)$ .

$$x_1 = 0 \text{ см}; \quad x_2 = 0 \text{ см};$$

$$y_1 = z_0 + \frac{h}{2} = 2.07 + \frac{20}{2} = 12.07 \text{ см}; \quad y_2 = 0 \text{ см}.$$

5. Определяем координаты центра тяжести:

$$X_C = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i * x_i}{\sum A_i}; \quad Y_C = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i * y_i}{\sum A_i}; \quad \text{где: } S_y, S_x - \text{статический момент относительно оси (X и Y соответственно)}.$$

$$X_C = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i * x_i}{\sum A_i} = \frac{26.8 * 0 + 23.4 * 0}{26.8 + 23.4} = 0 \text{ см}.$$

$$Y_C = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i * y_i}{\sum A_i} = \frac{26.8 * 12.07 + 23.4 * 0}{26.8 + 23.4} = 6.44 \text{ см}.$$

**Примечание.** При составлении формул центра тяжести составного сечения, необходимо знать, что в знаменателе все площади профилей проката вне зависимости от расположения осей отсчета складываются!

6. Указываем на схеме центр тяжести сложной фигуры С и проводим оси  $X_C, Y_C$ .

7. Проверка решения.

А) Определяем положения центров тяжести простых фигур относительно осей  $X^I$  и  $Y^I$

$$x_1 = 0 \text{ см}; \quad x_2 = 0 \text{ см};$$

$$y_1 = \frac{h}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ см}; \quad y_2 = -z_0 = -2.07 \text{ см}.$$

Б) Определяем координаты центра тяжести:

$X_C = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i * x_i}{\sum A_i}$ ;  $Y_C = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i * y_i}{\sum A_i}$ ; где:  $S_y, S_x$  - статический момент относительно оси (X и Y соответственно).

$$X_C^I = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i * x_i}{\sum A_i} = \frac{26.8 * 0 + 23.4 * 0}{26.8 + 23.4} = 0 \text{ см}.$$

$$Y_C^I = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i * y_i}{\sum A_i} = \frac{26.8 * 10 + 23.4 * (-2.07)}{26.8 + 23.4} = 4.37 \text{ см}.$$

**Примечание.** Если провести следующие действия:

$X_C^I - X_C = 0 - 0 = 0 \text{ см}$ ;  $Y_C^I - Y_C = 4.37 - 6.44 = -2.07 \text{ см}$ ., то мы убедимся, что положение начальных осей отсчета, относительно центра тяжести сложной фигуры не поменялось, и равно размеру  $z_0 = 2.07 \text{ см}$  - положение центра тяжести швеллера, что говорит о правильности решения.

*Ответ:*  $X_C = 0 \text{ см}$ ;  $Y_C = 6.44 \text{ см}$ .

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Что называется центром тяжести?
2. Где находится центр тяжести фигуры, если она имеет одну ось симметрии?
3. Где находится центр тяжести фигуры, если она имеет две оси симметрии?
4. Где находится центр тяжести у простых геометрических фигур и у профилей проката?
5. Расскажите алгоритм решения задач на определение центра тяжести?



Рис. 8

При решении различных задач по сопротивлению материалов возникает необходимость оперировать некоторыми геометрическими характеристиками поперечных сечений. Возьмем некоторое поперечное сечение и систему координат  $x; y$  (см. рис. 8). Выделим элементарную площадь  $dA$  с координатами  $x$  и  $y$ .

1. Площадь этого сечения можно найти интегрированием:  $A = \int dA \cdot \text{см}^2$
2. Статический момент сечения относительно данной оси- сумма произведений всех элементарных площадок на их расстояния до данной оси.

$$S_x = \sum y * dA = y * A; \quad S_y = \sum x * dA = x * A.\text{см}^3$$

3. Осевой момент инерции сечения относительно данной оси- сумма произведений всех элементарных площадок на квадраты их расстояния до данной оси.

$$J_x = \sum y^2 * dA = y^2 * A; \quad J_y = \sum x^2 * dA = x^2 * A.\text{см}^4$$

4. Радиус инерции сечения :  $i_x = \sqrt{J_x/A}; i_y = \sqrt{J_y/A} \cdot \text{см}$

5. Полярный момент инерции сечения- сумма осевых моментов инерции сечения относительно двух взаимно перпендикулярных осей.

По теореме Пифагора:  $\rho^2 = x^2 + y^2 \rightarrow J_\rho = \int y^2 * dA + \int x^2 * dA = J_x + J_y \cdot \text{см}^4$

**Примечание.** При повороте осей вокруг точки, являющейся началом системы координат- сумма осевых моментов инерции останется неизменной:  $J_\rho = J_x + J_y = \text{const.}$

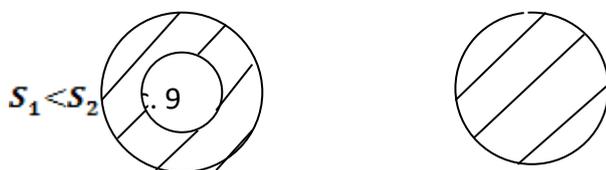
6. Центробежный момент инерции сечения- взятая по всей площади сечения, сумма произведений площадей элементарных площадок на произведения их расстояний до двух данных взаимно перпендикулярных осей.

$$J_{xy} = \int x * y dA = x * y * A.\text{см}^4$$

**Примечание.** Центробежный момент инерции относительно осей, одна из которых является осью симметрии,- равен нулю.

Геометрическими характеристиками прочности и жесткости сечения является полярный момент сопротивления (Полярный момент инерции), значения которых зависят не только от площади, но и от формы сечения.

Пример: При равном моменте сопротивления (моменте инерции)- кольцевое сечение является рациональным по отношению с круглым сплошным сечением и имеет меньшую площадь. (Рис. 9)



### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Почему статический момент любого сечения относительно центральной оси равен нулю?
2. Назовите свойство полярного момента инерции?
3. Как определяются моменты инерции составных сечений?
4. Как влияет профиль фигуры на момент инерции?

## **РАЗДЕЛ 2. КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА**

Тема 2.1 Основные понятия кинематики.

Тема 2.2 Кинематика точки.

Кинематика изучает механические движения точек и тел независимо от сил, вызывающих эти движения. Данный раздел изучает геометрию движения.

Основные понятия: траектория движения, прямолинейное движение, криволинейное движение, плоское движение.

Основные способы определения положения точки в пространстве: векторный, координатный и естественный способы.

При изучении темы необходимо систематизировать знания, полученные из курсов физики и математики.

Путь, скорость, ускорение- как основные параметры движения точки (тела).

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Что изучает кинематика?
2. Дайте определение основных понятий кинематики: траектория, расстояние, путь, время?
3. Как определить скорость точки при координатном способе задания движения?
4. Как определить скорость точки при естественном способе задания движения?
5. Как направляется вектор скорости при криволинейном движении?
6. Дайте определение ускорения?
7. Как определяется ускорение точки при координатном способе задания движения?
8. Как определяется ускорение точки при естественном способе задания движения?

9. Что характеризует нормальное ускорение?
10. Что характеризует касательное ускорение?

### Тема 2.3 Вращательное движение твердого движения тела.

При решении задач часто бывает задана или подлежит определению не угловая скорость вращения тела  $\omega$  (рад/с), а его частота вращения  $n$  (об/мин). В этом случае используют зависимость –  $\omega = (\pi * n)/30$ .

Если при решении задач требуется найти не угловой путь  $\varphi$  (рад), а число оборотов  $N$ , совершаемых телом за некоторое время, используют -  $N = \varphi/(2 * \pi)$ .

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Какое движение твердого тела называется поступательным?
2. Какие траектории имеют точки тела, движущегося поступательно?
3. Как можно задать поступательное движение?
4. Каким параметром задается вращательное движение?
5. Что характеризует угловая скорость?
6. Что характеризует угловое ускорение?
7. Дайте понятия равномерного и равнопеременного движения?
8. Какая зависимость между угловой и линейной скоростями?
9. Какая зависимость между угловым и линейным ускорениями?

### Тема 2.4 Сложное движение точки.

#### Тема 2.5 Плоскопараллельное движение твердого тела.

Плоскопараллельное движение имеет огромное распространение в технике. Подавляющее большинство механизмов являются плоскими, т. е. представляют собой сочленение твердых тел, совершающих плоскопараллельное движение.

При изучении темы следует обратить внимание на определение скоростей любых точек тела, совершающего плоскопараллельное движение при известном положении мгновенного центра вращения.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Какое движение называется относительным, переносным, абсолютным?
2. Теорема сложения скоростей при сложном движении точки?
3. Какое движение твердого тела называется плоскопараллельным?
4. Мгновенный центр скоростей плоской фигуры?

### Тема 2.6 Основные понятия и аксиомы динамики.

#### Тема 2.7 Метод кинестатики для материальной точки.

При изучении тем необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

- Как динамика связывает статику и кинематику;
- Все задачи динамики сводятся к двум типам задач (по известным силам определить движение и наоборот);

- Принцип Даламбера для движущегося тела позволяет применять уравнения равновесия статики.

Тема 2.8 Основные уравнения динамики для вращательного движения твердого тела.

При изучении темы обратить внимание на основное уравнение динамики точки и момент инерции тела.

**Вопросы для самоконтроля.**

1. Что изучает динамика?
2. В чем различия между кинематикой и динамикой?
3. Сформулируйте основные законы динамики?
4. Как определить силу инерции и куда ее направить?
5. В чем сущность принципа Даламбера?

Тема 2.9 Работа и мощность.

Тема 2.10 Теоремы динамики.

Основная сущность данной темы- это понятие теоремы динамики и необходимость использования их при решении задач.

**Вопросы для самоконтроля.**

1. Как определяется работа постоянной силы при прямолинейном движении?
2. Единицы измерения работы?
3. Как определяется работа силы тяжести?
4. Как определить знак работы силы тяжести?
5. Как определяется работа и мощность вращающегося тела?
6. Какие силы называют «движущими», а какие «силами сопротивления»?
7. Что такое К.П.Д. и как он определяется?
8. В чем заключается теорема об изменении количества движения для материальной точки?
9. Сформулируйте теорему об изменении кинетической энергии?

## РАЗДЕЛ 3. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

### Тема 3.1 Основные положения сопротивления материалов.

Сопротивление материал, опираясь на законы и положения теоретической механики и математики, а также на результаты механических испытаний конкретных материалов, разрабатывает приемы и методы расчетов на прочность, жесткость и устойчивость в целях обеспечения работоспособности конструкции при минимальной затрате материалов.

В процессе эксплуатации конструкций и механизмов элементы, в результате воздействия внешних сил неизбежно изменяют свои первоначальные размеры и форму, т.е. *деформируются*.

При изучении этой темы необходимо усвоить основные понятия о:

- какие бывают деформации;
- способности конструкций (прочность, жесткость и устойчивость);
- понятие о внутренних силах и методе их определения;
- понятие о напряжениях.

Для расчета на прочность необходимо определять внутренние силы по внешним нагрузкам, поэтому в основу этих задач положен *метод сечений*. При определении внутренних силовых факторов методом сечений необходимо обратить внимание на использование уравнений равновесия статики для отброшенной части.

Также важную роль в задачах по сопротивлению играет:

- знание элементов конструкций (брус, пластина, оболочка);
- условные обозначения внешних нагрузок.

#### Вопросы для самоконтроля.

1. Какие задачи по сопротивлению материалов вы знаете?
2. Какой метод применяется для определения внутренних усилий в поперечном сечении?
3. Какие деформации вы знаете?
4. В чем сходства и различия между пластическими и упругими деформациями?
5. Как направлено относительно сечения нормальное напряжение?
6. Как направлено относительно сечения касательное напряжение?

### Тема 3.2 Растяжение и сжатие.

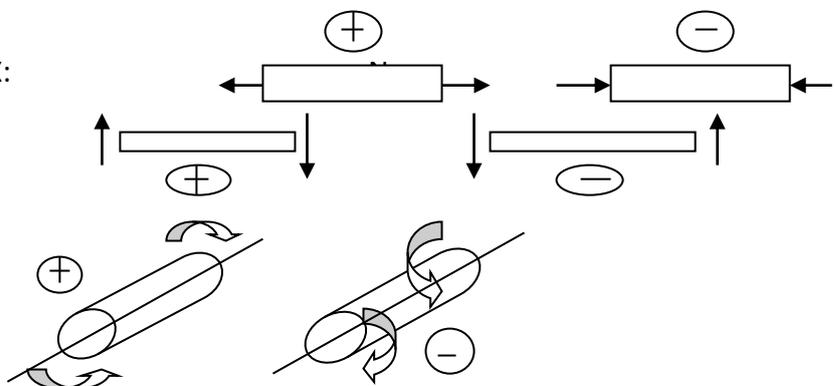
В этой теме необходимо обратить внимание на такие понятия, как внутренние силовые факторы:

- Нормальная (продольная) сила  $X$ :

- Поперечная сила  $YQ$

- Крутящий момент  $Z, Y$ :

$M_{кр}$



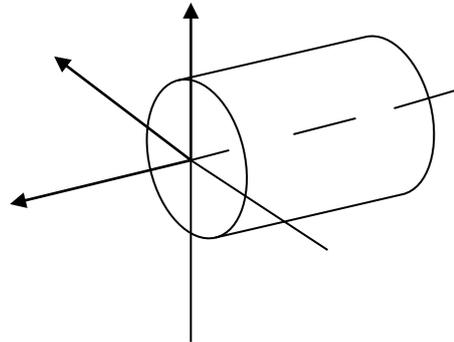
- Изгибающий момент (моменты относительно осей Y и Z – считаются положительными, если изгибают брус в сторону положительного направления соответствующей оси)



Y

Z

X



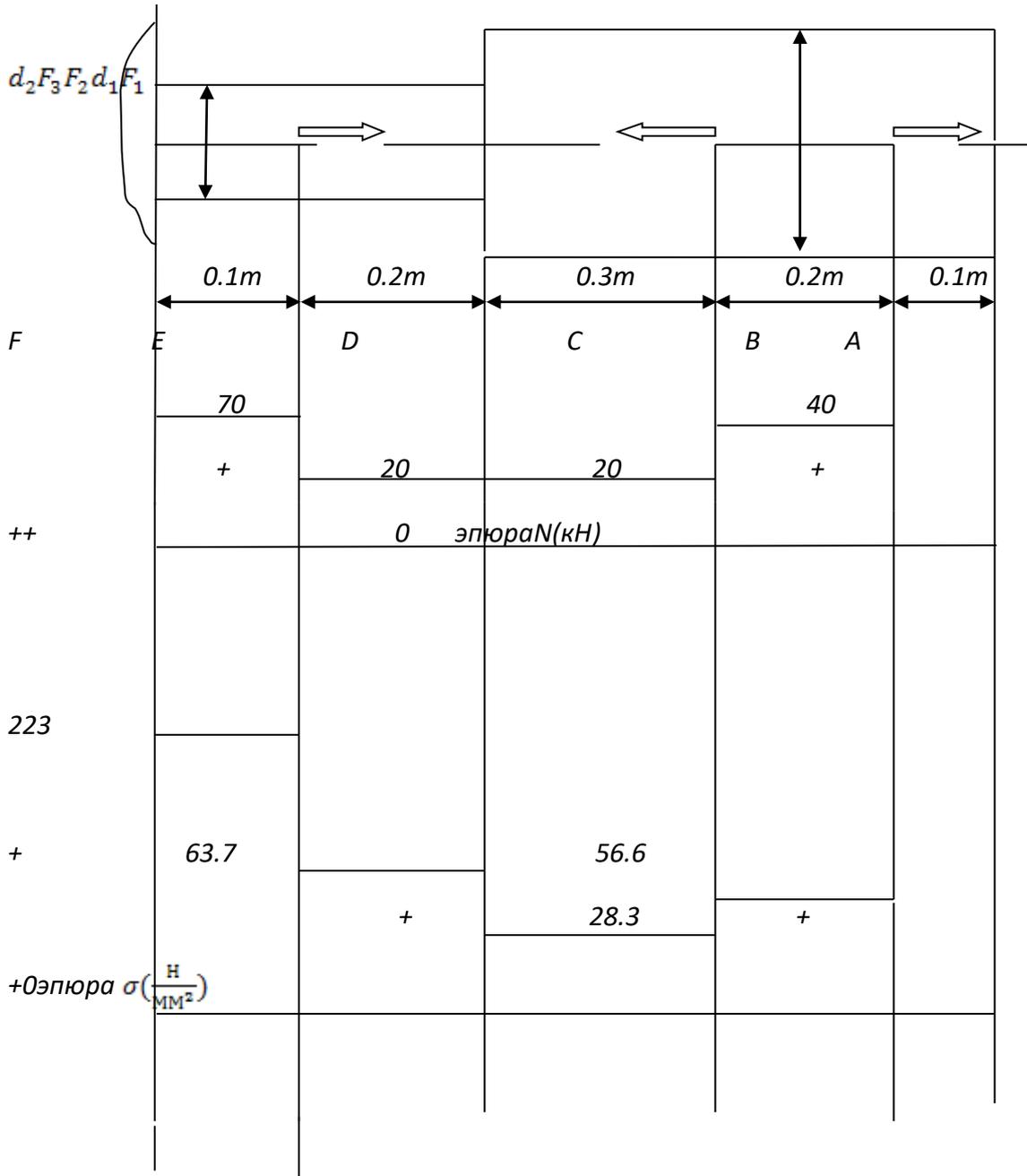
При практических расчетах часто приходится *варьировать* единицами измерений, поэтому уметь преобразовывать величины, имеет большое значение

$$1\text{Па}=1\text{Н}/\text{М}^2 \quad 1\text{Н}/\text{мм}^2 \rightleftharpoons 10^6 \text{ Н}/10^6 \text{ мм}^2 = 10^6 \text{ Н}/\text{М}^2 = 10^6 \text{ Па} = 1\text{МПа};$$

$$1\text{М}=100\text{см}=1000\text{мм}; \quad 1\text{М}^2 = 10^4 \text{ см}^2 = 10^6 \text{ мм}^2;$$

**Пример №5.** Для ступенчатого бруса (см. рис.10) требуется: построить эпюру продольных сил, эпюру нормальных напряжений, проверить прочность, определить удлинение свободного сечения, если:  $[\sigma]_p = 160 \text{ МПа}$  и  $[\sigma]_{сж} = 100 \text{ МПа}$ ;  $F_1 = 40 \text{ кН}$ ,  $F_2 = 20 \text{ кН}$ ,  $F_3 = 50 \text{ кН}$ ;  $d_1 = 30 \text{ мм}$ ,  $d_2 = 20 \text{ мм}$ ,  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ .

Рис.10



Решение:

1. Со стороны свободного сечения разбиваем брус на характерные участки и обозначаем границы участков буквами (А, В, С, D, Е, F).
2. Внутри каждого участка методом сечения определяем продольную силу, как сумму проекций всех сил, спроектированных на ось с одной стороны от сечения. Продольная сила положительная, если брус испытывает деформацию растяжения.

$N_{AB} = 0 \text{ кН}$ ; т.к. со стороны сечения нет ни одной силы.

$N_{BC} = F_1 = 40 \text{ кН}$ ;  $N_{CD} = F_1 - F_2 = 40 - 20 = 20 \text{ кН}$ ;

$$N_{DE} = F_1 - F_2 = 40 - 20 = 20 \text{ кН}; \quad N_{EF} = F_1 - F_2 + F_3 = 40 - 20 + 50 = 70 \text{ кН}.$$

Строим эпюру N (эпюру продольных сил):

- Параллельно оси бруса проводим прямую, на которую проектируем все участки;
- В выбранном масштабе на каждом участке откладываем подсчитанную продольную силу;
- Расставляем соответствующие знаки «+»- выше оси; “-“ - ниже оси.

3. Определяем площади поперечных сечений:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} = 706,5 \text{ мм}^2; \quad A_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} = 314 \text{ мм}^2.$$

4. Подсчитываем нормальные напряжения на каждом участке, как отношение внутренних сил к площади поперечного сечения.

$$\sigma_{AB} = \frac{N_{AB}}{A_1} = \frac{0}{706,5} = 0 \text{ Н/мм}^2; \quad \sigma_{BC} = \frac{N_{BC}}{A_1} = \frac{40000}{706,5} = 56,6 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{CD} = \frac{N_{CD}}{A_1} = \frac{20000}{706,5} = 28,3 \text{ Н/мм}^2; \quad \sigma_{DE} = \frac{N_{DE}}{A_2} = \frac{20000}{314} = 63,7 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{EF} = \frac{N_{EF}}{A_2} = \frac{70000}{314} = 223 \text{ Н/мм}^2.$$

Строим эпюру  $\sigma$  (эпюру нормальных напряжений).

5. Проверяем прочность ступенчатого бруса. Прочность бруса обеспечена, если выполняется условие:  $\sigma_{max} \leq [\sigma]$ .

Из эпюры выбираем максимальное нормальное напряжение растяжения и сравним его с допуском:  $\sigma_{max} \leq [\sigma] \quad 223 \text{ Н/мм}^2 \leq 160 \text{ МПа} \Rightarrow (\text{Н/мм}^2)$

Из эпюры видно, что брус не испытывает деформацию сжатия, поэтому не проверяем по условию прочности на сжатие.

**Вывод:** прочность ступенчатого бруса не обеспечена, так как брус не удовлетворяет условия растяжения, поэтому необходимо сечение бруса на участке EF - увеличить, или уменьшить силу  $F_3 = 50 \text{ кН}$  - до необходимых параметров обеспечивающих прочность бруса по условию растяжения.

6. Так как ступени бруса выполнены из одного материала, удлинение свободного сечения A определяем по формуле:  $\Delta l_A = \frac{1}{E} \sum (\sigma_i l_i)$

$$\begin{aligned} \Delta l_A &= \frac{1}{E} \sum (\sigma_i l_i) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 10^5} \sum (0 \cdot 100 + 56,6 \cdot 200 + 28,3 \cdot 300 + 63,7 \cdot 200 + 223 \\ &\quad \cdot 100) = 0,27 \text{ мм.} \end{aligned}$$

**Ответ:** Брус удлинится на 0,27 мм, о чем говорит знак плюс.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. В каком случае брус испытывает деформацию растяжения (сжатия)?
2. Влияет ли форма поперечного сечения на величину возникающих в нем напряжений?
3. Три рода задач по условию прочности при растяжении (сжатии)?
4. Какова цель механических испытаний материалов?
5. Можно ли оценить прочность деталей по величине максимального рабочего напряжения?
6. Для чего строятся эпюры в ходе решения задач?

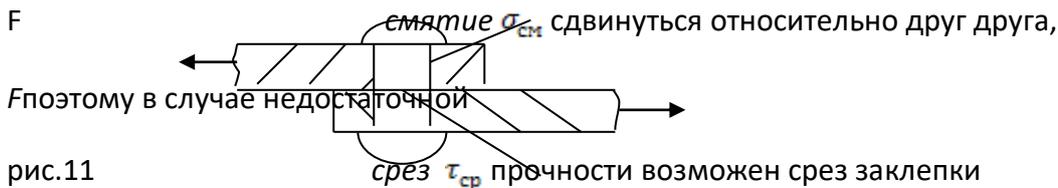
### Тема 3.3 Практические расчеты на срез и смятие.

Практика показывает, что почти все механизмы и конструкции состоят из разъемных и неразъемных соединений, основной расчет которых, заключается в расчете на прочность, при этом следят, чтобы прочность соединяемых и соединительных деталей была одинаковой.

*Неразъемные* – соединения, разъединение которых невозможно без разрушения соединяемых деталей или соединяющего материала (заклепочные, сварные, клеевые, паяные и тд.).

*Разъемные* – соединения, которые разъединяются без повреждения деталей (резьбовые, шпоночные, зубчатые).

1. Заклепочные соединения (см. рис.11). При нагружении шва детали стремятся



по линии стыка и смятие боковых поверхностей заклепок и наружных листов.

При расчете на срез теория СОПРОМАТ допускает, что в поперечном сечении возникает только один внутренний силовой фактор - поперечная сила  $Q$ , касательные напряжения  $\tau_{ср}$ , возникающие в поперечном сечении, равномерно распределены по его площади.

Условие прочности на срез:  $\tau_{ср} = Q/A_{ср} \leq [\tau]_{ср}$ , - для одной заклепки.

$$\tau_{ср} = \frac{4 * F}{\pi * d^2 * k * z} \leq [\tau]_{ср}, - \text{ для группы заклепок.}$$

F- нагрузка на соединение; d - диаметр одной заклепки; k - число плоскостей среза одной заклепки; z- число заклепок (в соединениях с накладками равно половине общего числа заклепок).

Расчет на срез обеспечивает прочность заклепок, но не гарантирует надежность соединения в целом. Если толщина соединяемых элементов (листов) недостаточна, то давления, возникающие между стенками их отверстий и заклепками, получаются большими, в результате стенки отверстий обминаются и соединение становится ненадежным. Закон распределения напряжений смятия по цилиндрической поверхности контакта трудно установить точно, поэтому расчет на смятие носит условный характер.

Условие прочности на смятие:  $\sigma_{см} = F/(z * A_{см}) \leq [\sigma]_{см}$ ,  $A_{см} = d * \delta_{min}$ , где:  $\delta_{min}$  – наименьшая толщина одной или нескольких деталей, передающих нагрузку в одну сторону.

Условие прочности для группы заклепок:  $\sigma_{ср} = F/(z * d * \delta_{min}) \leq [\sigma]_{см}$ .

Условие прочности на разрыв листа в сечении, ослабленном заклепочными отверстиями:

$$\sigma = \frac{F}{\delta * (b - n_i * d)} \leq [\sigma], \text{ где: } b - \text{ ширина листа;}$$

$n_i$ - количество заклепок в ряду.

$$\tau = \frac{F_1}{2 * \left(\frac{c-d}{2}\right) * \delta} \leq [\tau], \text{ где: } F_1 - \text{ сила на одну заклепку};$$

C - расстояние от торца листа до центра заклепки.

**Примечание.** Расчеты заклепочных, штифтовых, болтовых соединений схожи между собой.

*Допускаемые напряжения для сталей Ст.2, Ст.3 (заклепочные соединения):*

Основные элементы -  $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$ ;  $[\tau] = 100 \text{ Н/мм}^2$ .

Заклепки в рассверленных отверстиях -  $[\sigma] = 320 \text{ Н/мм}^2$ ;  $[\tau] = 140 \text{ Н/мм}^2$ .

Заклепки в продавленных отверстиях -  $[\sigma] = 280 \text{ Н/мм}^2$ ;  $[\tau] = 100 \text{ Н/мм}^2$ .

*Для болтов, штифтов и им подобным элементам при статической нагрузке, допускаемые напряжения принимаются в зависимости от качества материала:*

$[\tau] = (0.25 - 0.40) * \sigma_T$ ,  $\sigma_T$  - предел текучести материала болта.

$[\sigma] = 100 - 120 \text{ Н/мм}^2$  - для сталей 15, 20, 25, Ст.3, Ст.4.

$[\sigma] = 140 - 165 \text{ Н/мм}^2$  - для сталей 35, 40, 45, 50, Ст.5, Ст.6.

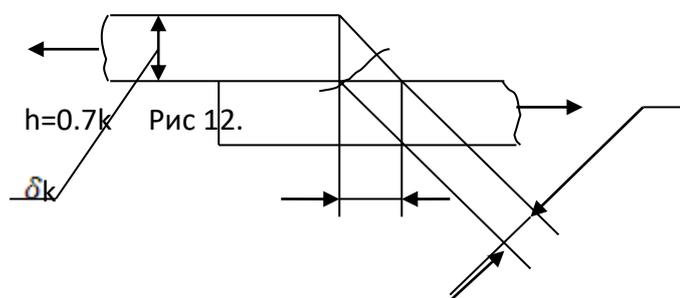
$[\sigma] = (0.4 - 0.5) * \sigma_{пч}$  - для чугуна

При расчетах соединений из разнородных материалов, расчет ведется

По менее прочному.

### Тема 3.4 Практические расчеты сварных соединений на растяжение и сдвиг (срез).

Сварные соединения образуют местным нагревом деталей в зоне их соединения. Сварные соединения менее металлоемки и является прочным и не разъемным соединением см. рис12.



В зависимости от взаимного расположения соединяемых элементов различают соединения: встык, внахлестку, втавр – стыковыми или угловыми швами.

При расчетах на прочность проверяют шов под углом 45 градусов в поперечном сечении.

*Стыковое соединение:*  $\sigma = \frac{F}{b * s} \leq [\sigma]$ , где b и s- ширина и толщина листа в мм.

Соединение внахлестку:  $\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{0.7 * k * l} \leq [\tau]_{\text{ср}}$ , l- длина периметра шва.

Соединение втавр: а) для стыкового шва  $\sigma = \frac{N}{A} = \frac{F}{s * l} \leq [\sigma]$

б) для углового шва -  $\tau_{\text{ср}} = \frac{Q}{F_{\text{ср}}} = \frac{F}{2 * l * 0.7 * k} \leq [\tau]_{\text{ср}}$ .

Допускаемые напряжения при сварке Н/мм<sup>2</sup>:

Вид напряжения	Обозначение	Ручная сварка		Автоматическая сварка
		Вид электрода		
		С тонкой обмазкой	С толстой обмазкой	
Растяжение	$[\sigma]_з$	100	130	130
Сжатие	$[\sigma]_з$	110	145	145
Срез	$[\tau]_з$	80	110	110

### Вопросы для самоконтроля.

1. Опишите три рода решения задач по условиям прочности (растяжение, сжатие, сдвиг(срез), смятие) всех видов разъемных и не разъемных соединений?

### Тема 3.5 Кручение брусьев круглого сечения.

Деформация кручения прямого бруса вызывается внешними парами сил, действующими в плоскостях, перпендикулярных к оси бруса. При кручении брусья подвергаются расчетам на жесткость и прочность. Теория кручения бруса круглого поперечного сечения основана на следующих допущениях:

- а) ось бруса после деформации остается прямой линией;
- б) расстояния между поперечными сечениями остаются неизменными, т. е. удлинения (укорочения) волокон отсутствуют;
- в) поперечные сечения, плоские до деформации, остаются плоскими и перпендикулярными к оси бруса после деформации (гипотеза плоских сечений);
- г) радиусы поперечных сечений, поворачиваясь на определенный угол, остаются прямыми.

Расчет на прочность:  $\tau_{\text{max}} \leq [\tau]$ , три рода задач:

1. Проверка прочности (проверочный расчет) -  $\tau_{\text{max}} = \frac{M_K \text{ max}}{W_p} \leq [\tau]$

2. Подбор сечения (проектный расчет).

При проектном расчете определяют требуемый момент сопротивления, учитывая то, что момент сопротивления является одной из характеристик сечения, можно подобрать сечение по формулам.

$$W_p = \frac{M_{K \max}}{[\tau]} \quad \Rightarrow$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * M_{K \max}}{\pi * [\tau]}}; \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * M_{K \max}}{\pi * [\tau] * (1 - C^4)}}.$$

3. Допускаемый крутящий момент -  $M_{K \max} = [\tau] * W_p$ ;

Допускаемые напряжения при кручении:

$[\tau] = \frac{\tau_T}{[n_T]}$  – для пластичных материалов;  $[\tau] = \frac{\tau_{пч}}{[n_{пч}]}$  - для хрупких материалов.

$\tau_T$  и  $\tau_{пч}$  - предел текучести и предел прочности при кручении (сдвиге).

$[n_T]$  и  $[n_{пч}]$  - требуемые (допускаемые) коэффициенты запаса прочности.

При чистом кручении для стали  $[\tau] = (0.5 - 0.6) * \sigma$ ;

для чугуна  $[\tau] = (1.0 - 1.2) * \sigma$ .

$\sigma$  - предел текучести материала.

Расчет на жесткость:  $\varphi_{\max} \leq [\varphi]$ , три рода задач:

1. Проверка прочности (проверочный расчет) - -  $\varphi_{\max} = \frac{M_{K \max}}{G * J_p} \leq [\varphi]$

2. Подбор сечения (проектный расчет).

При проектном расчете определяют требуемый момент сопротивления, учитывая то, что момент инерции является одной из характеристик сечения, можно подобрать сечение по формулам.

$$J_p = \frac{M_{K \max}}{[\tau]} \quad \Rightarrow$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{32 * M_{K \max}}{\pi * G * [\varphi]}}.$$

3. Допускаемый крутящий момент -  $M_{K \max} = [\varphi] * J_p * G$ ;

Допускаемые угол закручивания при кручении:

При чистом кручении для  $[\varphi] = (0.15 - 2.0)$  град/м; или

$[\varphi] = (0.26 - 3.5) * 10^{-4}$  рад/см.

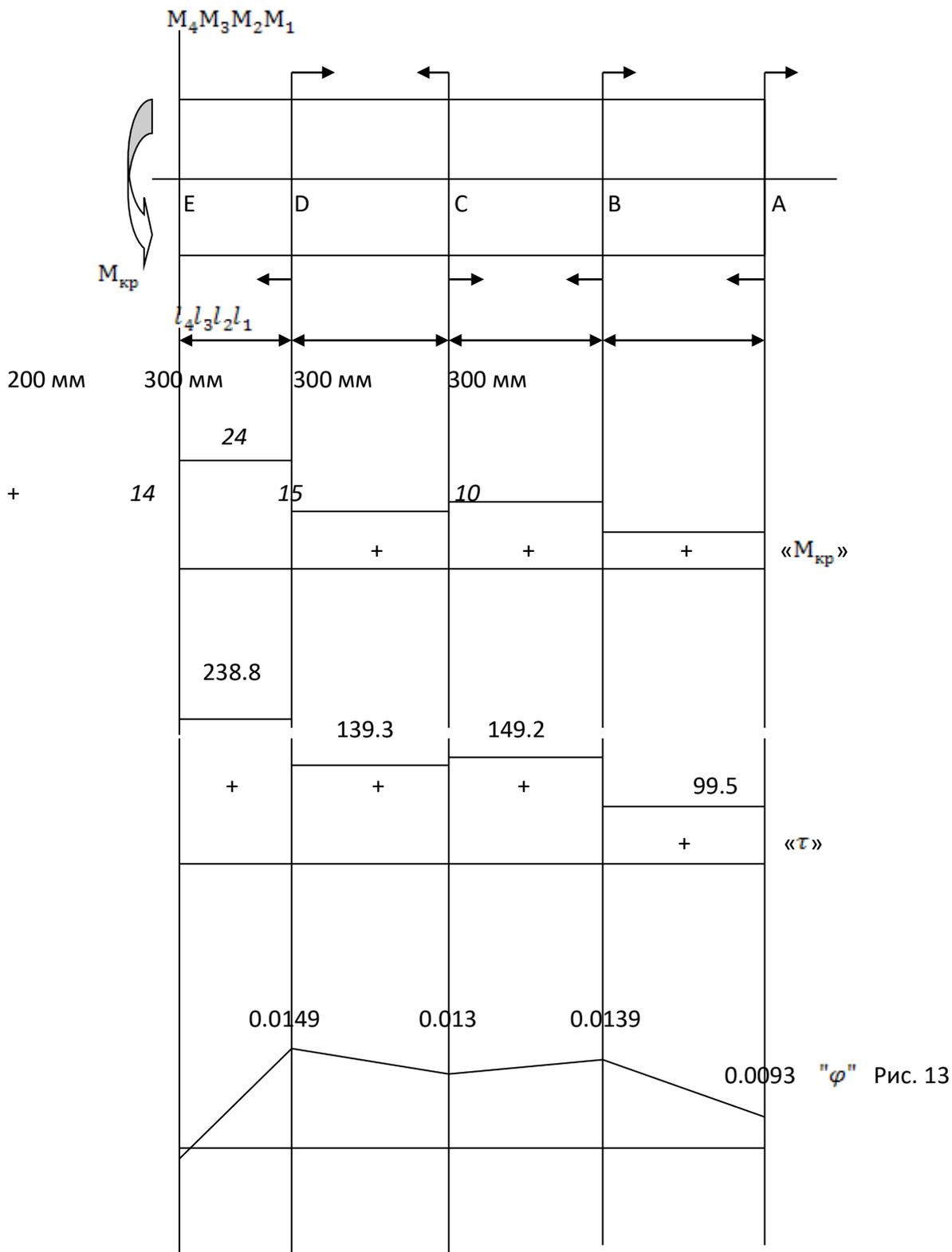
G – модуль упругости (табличное значение).

**Примечание.** Кольцевое сечение является рациональным по отношению с круглым сплошным сечением и имеет меньшую площадь.

**Пример №6.** Для стального бруса постоянного сечения, нагруженного скручивающими моментами, требуется: построить эпюру крутящих моментов; построить эпюру касательных напряжений; эпюру углов поворота поперечных сечений; если диаметр бруса стального сечения 80 мм. (см. рис.13).

$$M_1 = 10 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_2 = 5 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_3 = 1 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_4 = 10 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$[\tau] = 60 \text{ Н/мм}^2; G = 8 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2; [\varphi] = 1 \cdot 10^{-4} \text{ рад/см}$$



Решение:

1. Разбиваем брус на участки (А, В, С, D, Е).
2. Из условия равновесия  $\sum M_x = 0$ , находим реактивный момент в закреплении бруса:

$$M_1 + M_2 - M_3 + M_4 - M_{кр} = 0;$$

$$M_{кр} = -M_1 - M_2 + M_3 - M_4 = -10 - 5 + 1 - 10 = -24 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

3. Пользуясь методом сечений, определяем крутящие моменты на каждом участке:

$$M_{AB} = M_1 = 10 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{BC} = M_1 + M_2 = 10 + 5 = 15 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{CD} = M_1 + M_2 - M_3 = 10 + 5 - 1 = 14 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{DE} = M_1 + M_2 - M_3 + M_4 = 10 + 5 - 1 + 10 = 24 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

4. Определяем требуемый диаметр бруса.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * M_{K \max}}{\pi * [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 24 * 1000 * 1000}{3.14 * 60}} = 43.9 \text{ мм}$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{32 * M_{K \max}}{\pi * G * [\varphi]}} = \sqrt[4]{\frac{32 * 24 * 1000 * 1000}{3.14 * 8 * 10000 * 1 * 10^{-4}}} = 74.3 \text{ мм}$$

Округляем полученное большее значение, и задаемся значением диаметра поперечного сечения 80мм.

5. Определяем момент сопротивления поперечного сечения.

$$W_\rho = \frac{\pi * d^3}{16} = \frac{3.14 * 80^3}{16} = 100480 \text{ мм}^3$$

6. Определяем касательные напряжения на каждом участке и строим эпюру касательных напряжений.

$$\tau_{AB} = \frac{M_{AB}}{W_\rho} = \frac{10 * 10^3 * 10^3}{100480} = 99.5 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_{BC} = \frac{M_{BC}}{W_\rho} = \frac{15 * 10^3 * 10^3}{100480} = 149.2 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_{CD} = \frac{M_{CD}}{W_\rho} = \frac{14 * 10^3 * 10^3}{100480} = 139.3 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_{DE} = \frac{M_{DE}}{W_\rho} = \frac{24 * 10^3 * 10^3}{100480} = 238.8 \text{ Н/мм}^2$$

7. Определяем момент инерции поперечного сечения.

$$J_\rho = \frac{\pi * d^4}{32} = \frac{3.14 * 80^4}{32} = 4019200 \text{ мм}^4$$

8. Определяем углы поворота каждого сечения и строим эпюру углов поворота.

$$\varphi_{DE} = \frac{M_{DE} * l_{DE}}{G * J_\rho} = \frac{24 * 1000 * 1000 * 200}{8 * 10000 * 4019200} = 0.0149 \text{ рад}$$

$$\varphi_{DC} = \frac{M_{DC} * l_{DC}}{G * J_\rho} = \frac{14 * 1000 * 1000 * 300}{8 * 10000 * 4019200} = 0.013 \text{ рад}$$

$$\varphi_{BC} = \frac{M_{BC} * l_{BC}}{G * J_p} = \frac{15 * 1000 * 1000 * 300}{8 * 10000 * 4019200} = 0.0139 \text{ рад}$$

$$\varphi_{AB} = \frac{M_{AB} * l_{AB}}{G * J_p} = \frac{10 * 1000 * 1000 * 300}{8 * 10000 * 4019200} = 0.0093 \text{ рад}$$

***Вопросы для самоконтроля.***

1. Сформулируйте закон Гука при сдвиге.
2. Каков физический смысл модуля сдвига.
3. Как нужно нагрузить брус, чтобы он работал только на кручение.
4. Как определить крутящий момент в произвольном сечении бруса.
5. Какая зависимость существует между передаваемой валом мощностью, вращающим моментом и угловой скоростью.
6. От каких геометрических характеристик сечения зависит при кручении прочность бруса, жесткость бруса.
7. Два круглых бруса имеют равные площади поперечных сечений, но одно из них сплошной круг, а другое - круговое кольцо. Какой из этих брусьев имеет большую прочность, а какой большую жесткость?
8. В одинаковой ли степени изменяются жесткость и прочность бруса при изменении его диаметра.
9. Как определить знак крутящего момента.

Тема 3.6 Изгиб

При рассмотрении данной темы уделяют большое внимание построению эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. При построении эпюры поперечных сил следует учитывать скачек на величину силы, а при построении эпюры изгибающих моментов следует учитывать скачек на величину момента.

**Пример №7.** Определить реакции опор балки (рис.14). Построить эпюры поперечных сил и крутящих моментов, по условию прочности подобрать сечение балки в виде двутавра по ГОСТ 8239-89, если  $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$

$$F_1 = 6 \text{ кН}; F_2 = 4 \text{ кН}; q = 2 \frac{\text{кН}}{\text{м}}; m = 10 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

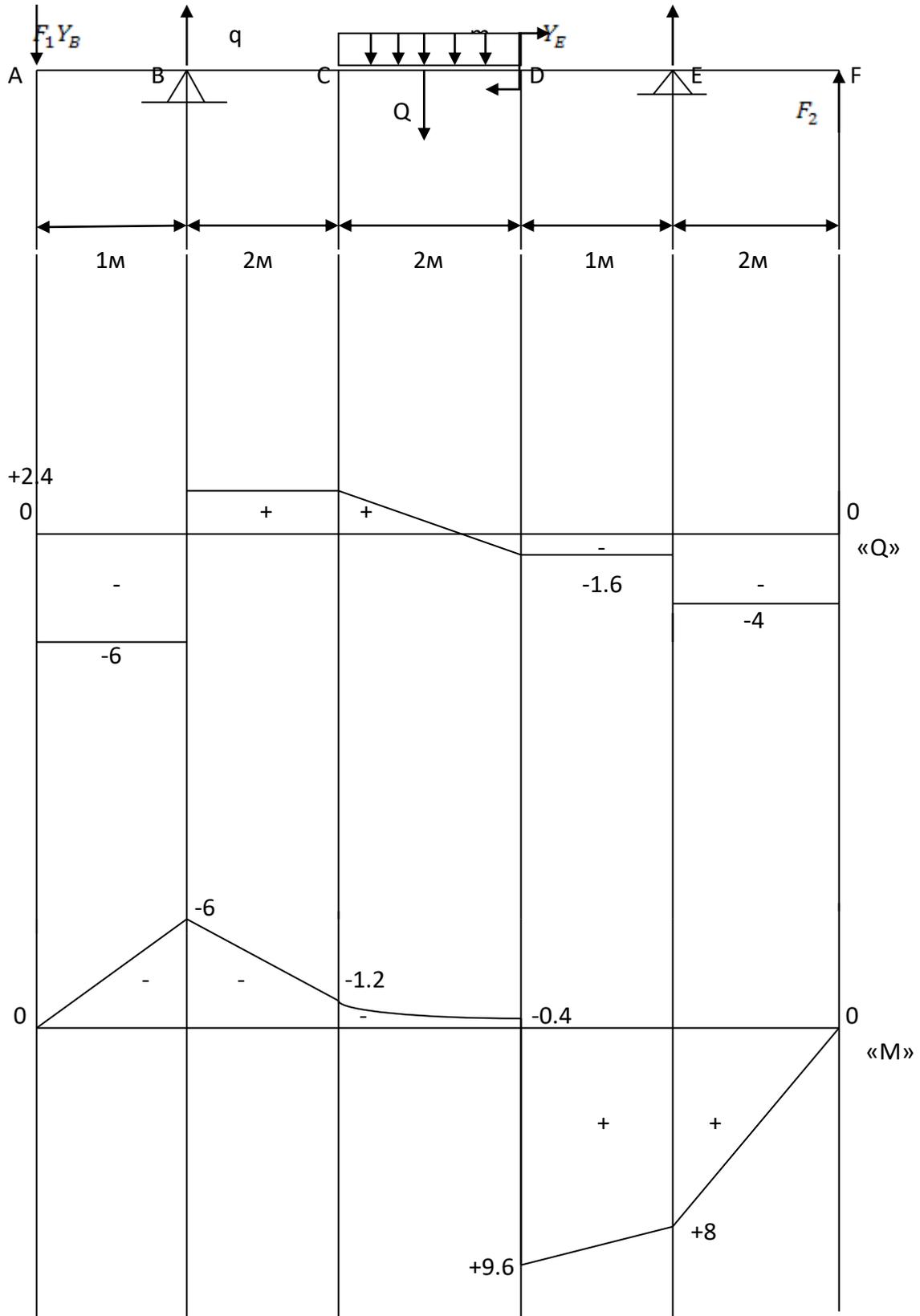


Рис.14

Ход решения задачи:

1. Уяснить условие задачи, если имеется равномерно распределенная нагрузка- $q$ , необходимо определить сосредоточенную силу от равномерно распределенной нагрузки-  $Q = q * l$ ,  $l=2$ м - расстояние, на котором действует равномерно распределенная нагрузка.

$Q = q * l = 2 * 2 = 4$  кН; Обозначим характерные участки балки, где приложены нагрузки буквами (А, В, С, ...).

2. Задача имеет частный случай, поэтому будем составлять уравнения равновесия для параллельных сил:

Составляем уравнения реакций опор балки

$$\sum M_B(F_i) = 0; \sum M_E(F_i) = 0. \text{Проверка } \sum Y_i = 0.$$

Из первого уравнения определяем реакцию в опоре Е,

Из второго уравнения определяем реакцию в опоре В

$$\sum M_B = -F_1 * 1 + Q * 3 + m - Y_E * 5 - F_2 * 7 = 0;$$

$$-6 * 1 + 4 * 3 + 10 - Y_E * 5 - 4 * 7 = 0; \quad Y_E = -2.4 \text{ кН.}$$

$$\sum M_E = -F_1 * 6 - Q * 2 + m + Y_B * 5 - F_2 * 2 = 0;$$

$$-6 * 6 - 4 * 2 + 10 + Y_B * 5 - 4 * 2 = 0; \quad Y_B = 8.4 \text{ кН}$$

$$Y_E = -2.4 \text{ кН}; Y_B = 8.4 \text{ кН}$$

3. Проверка решения:  $\sum Y_i = -F_1 + Y_B - Q + Y_E + F_2 = -6 + 8.4 - 4 + (-2.4) + 4 = 0$

Проверка пришла к нулю убеждаемся в правильности определения реакций.

4. Определяем поперечные силы на каждом участке:

$$Q_A = -F_1 = -6 \text{ кН};$$

$$Q_B = Q_C = -F_1 + Y_B = -6 + 8.4 = 2.4 \text{ кН};$$

$$Q_D = -F_1 + Y_B - Q = -6 + 8.4 - 4 = -1.6 \text{ кН};$$

$$Q_E = -F_1 + Y_B - Q + Y_E = -6 + 8.4 - 4 + (-2.4) = -4 \text{ кН};$$

$$Q_F = -F_1 + Y_B - Q + Y_E + F_2 = -6 + 8.4 - 4 + (-2.4) + 4 = 0 \text{ кН.}$$

5. Определяем изгибающие моменты на каждом участке:

$$M_A = 0 \text{ кН * м};$$

$$M_B = -F_1 * 1 = -6 * 1 = -6 \text{ кН * м};$$

$$M_C = -F_1 * 3 + Y_B * 2 = -6 * 3 + 8.4 * 2 = -1.2 \text{ кН * м}$$

$$M_D^{cл} = -F_1 * 5 + Y_B * 4 - Q * 1 = -6 * 5 + 8.4 * 4 - 4 * 1 = -0.4 \text{ кН * м}$$

$$M_D^{cп} = M_D^{cл} + m = -0.4 + 10 = 9.6 \text{ кН * м}$$

$$M_E = -F_1 * 6 + Y_B * 5 - Q * 2 + m = -6 * 6 + 8.4 * 5 - 4 * 2 + 10 = 8 \text{ кН * м}$$

$$M_F = -F_1 * 8 + Y_B * 7 - Q * 4 + m + Y_E * 2 = -6 * 8 + 8.4 * 7 - 4 * 4 + 10 + (-2.4) * 2 = 0 \text{ кН * м}$$

6. По условию прочности подбираем сечение балки:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} \leq [\sigma] W_x = \frac{M_{max}}{[\sigma]} = \frac{9.6 * 1000 * 100 * 0.01}{160} = 60 \text{ см}^3; \text{ Из сортамента}$$

ГОСТ 8239-89 по  $W_x = 60 \text{ см}^3$  подбираем сечение двутавра №14 с  $W_x = 81.7 \text{ см}^3$

**Пример №8.** Определить реакции опоры консольной балки (рис.15).

$$F_1 = 10 \text{ кН}; q = 4 \frac{\text{кН}}{\text{м}}; m = 15 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

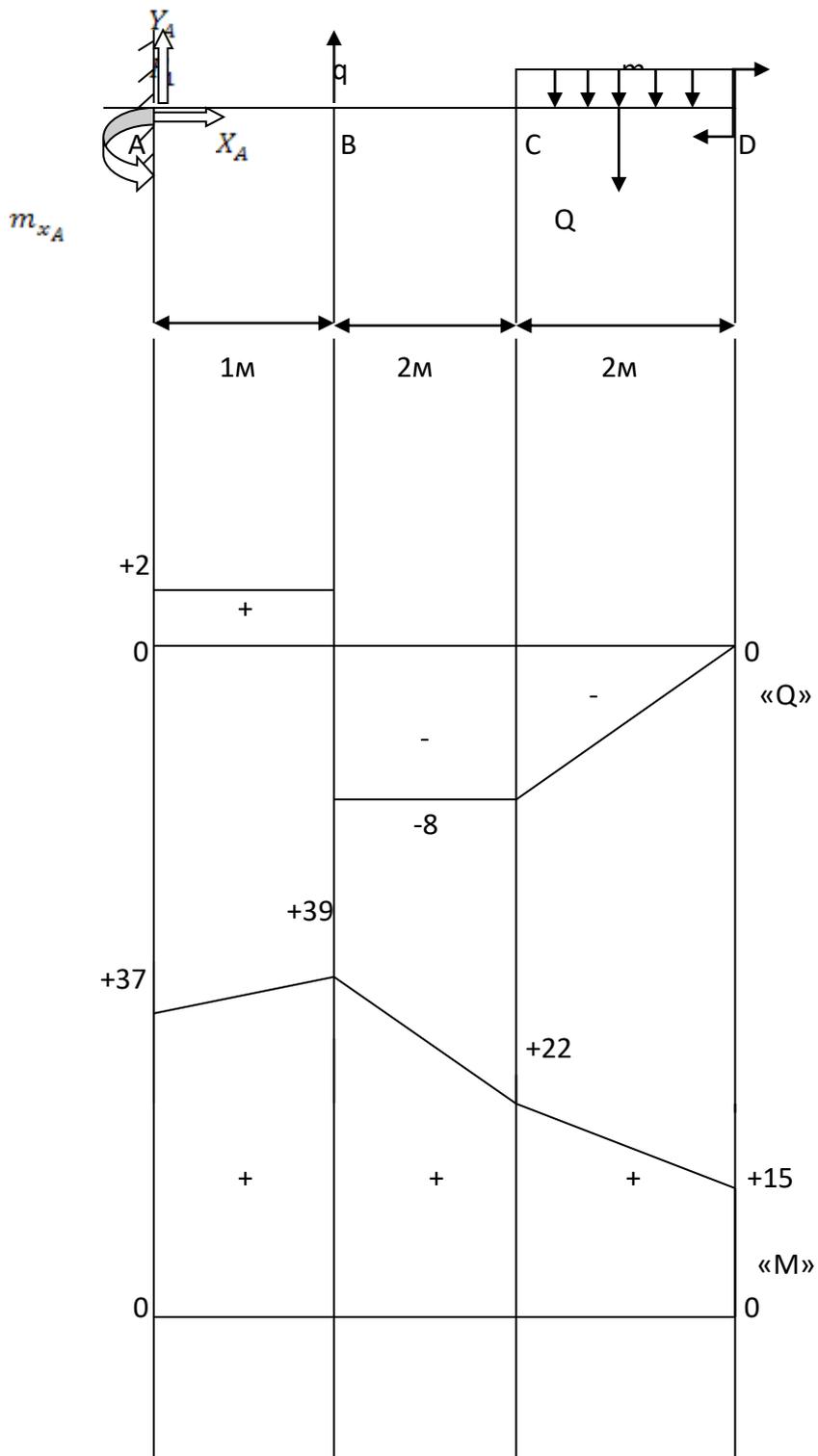


Рис.15

**Рекомендуется эпюры строить со стороны свободного конца**

Ход решения задачи:

1. Уяснить условие задачи. Если имеется равномерно распределенная нагрузка- $q$ , необходимо определить сосредоточенную силу от равномерно распределенной нагрузки.  $Q = q * l$ ,  $l=2\text{м}$  - расстояние, на котором действует равномерно распределенная нагрузка.
2. Обозначим характерные участки балки, где приложены нагрузки буквами (А В С ...). Консольная балка представляет собой - балку с жесткой заделкой (точка А) - опора, в которой возникают три неизвестные силы  $X_A, Y_A, m_{x_A}$ .
3. Задача имеет частный случай, поэтому будем составлять уравнения равновесия для параллельных сил:

$$\sum X_i = 0; \sum Y_i = 0; \sum M_A(F_i) = 0; \text{Проверка } \sum M_D(F_i) = 0;$$

Из первого уравнения определяем реакцию в опоре  $X_A$ ,

Из второго уравнения определяем реакцию в опоре  $Y_A$

Из третьего уравнения определяем момент в опоре  $m_{x_A}$

$\sum X_i = 0; X_A = 0$ , так как все нагрузки проецируются на ось X под углом  $90^0$  и равны нулю (наклонных сил нет);

$$\sum Y_i = 0; Y_A + F_1 - Q = 0; Y_A = -F_1 + Q = -10 + 8 = -2 \text{ кН};$$

$$\sum M_A = -m_{x_A} - F_1 * 1 + Q * 4 + m = 0;$$

$$-m_{x_A} - 10 * 1 + 8 * 4 + 15 = 0; m_{x_A} = 37 \text{ кН}.$$

$$X_A = 0; Y_A = -2 \text{ кН}; m_{x_A} = 37 \text{ кН}.$$

Проверка решения:

$$\sum M_D = -m_{x_A} + Y_A * 5 + X_A * 0 + F_1 * 4 - Q * 1 + m = -37 + (-2) * 5 + 0 * 0 + 10 * 4 - 8 * 1 + 15 = 0$$

;

Проверка пришла к нулю убеждаемся в правильности определения реакций.

4. Определяем поперечные силы на каждом участке:

$$Q_D = 0 \text{ кН};$$

$$Q_C = -Q = -8 \text{ кН};$$

$$Q_B = -Q + F_1 = -8 + 10 = +2 \text{ кН};$$

$$Q_A = -Q + F_1 + Y_A = -8 + 10 + (-2) = 0 \text{ кН};$$

5. Определяем изгибающие моменты на каждом участке:

$$M_D^{cl} = 0 \text{ кН} * \text{м};$$

$$M_D^{cp} = +m = +15 \text{ кН} * \text{м};$$

$$M_C = +m + Q * 1 = +15 + 8 * 1 = +22 \text{ кН} * \text{м}$$

$$M_B = +m + Q * 3 = +15 + 8 * 3 = +39 \text{ кН} * \text{м}$$

$$M_A^{cl} = +m + Q * 4 - F_1 * 1 = +15 + 8 * 4 - 10 * 1 = +37 \text{ кН} * \text{м}$$

$$M_A^{cp} = M_A^{cl} - m_{x_A} = +37 - 37 = 0 \text{ кН} * \text{м}$$

6. По условию прочности подбираем сечение балки:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} \leq [\sigma] W_x = \frac{M_{max}}{[\sigma]} \Rightarrow \frac{39 \cdot 1000 \cdot 100 \cdot 0.01}{160} = 243.75 \text{ см}^3 ; \text{ Определяем момент}$$

$$\text{сопротивления для одного швеллера } W_x = \frac{243.75}{2} = 121.875 \text{ см}^3$$

Из сортамента ГОСТ 8240-89 по  $W_x = 121.875 \text{ см}^3$  подбираем сечение швеллера №20 с  $W_x = 152 \text{ см}^3$

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Что такое нейтральная плоскость (нейтральная ось).
2. Для чего строят эпюры Q и M.
3. Чему равна поперечная сила в поперечном сечении при чистом изгибе.
4. Как определить нормальное напряжение в точке данного поперечного сечения при прямом изгибе.
5. Как определить касательное напряжение в точке данного поперечного сечения при прямом изгибе.
6. Где нормальные напряжения в сечении равны нулю, где принимают экстремальные значения.
7. Где касательные напряжения в сечении равны нулю, где принимают максимальные значения.
8. Три рода решения задач по условию прочности.
9. Какие величины характеризуют жесткость при изгибе.
10. От какой величины зависит рациональный подбор поперечного сечения.

### Тема 3.7 Расчеты на прочность и жесткость при изгибе.

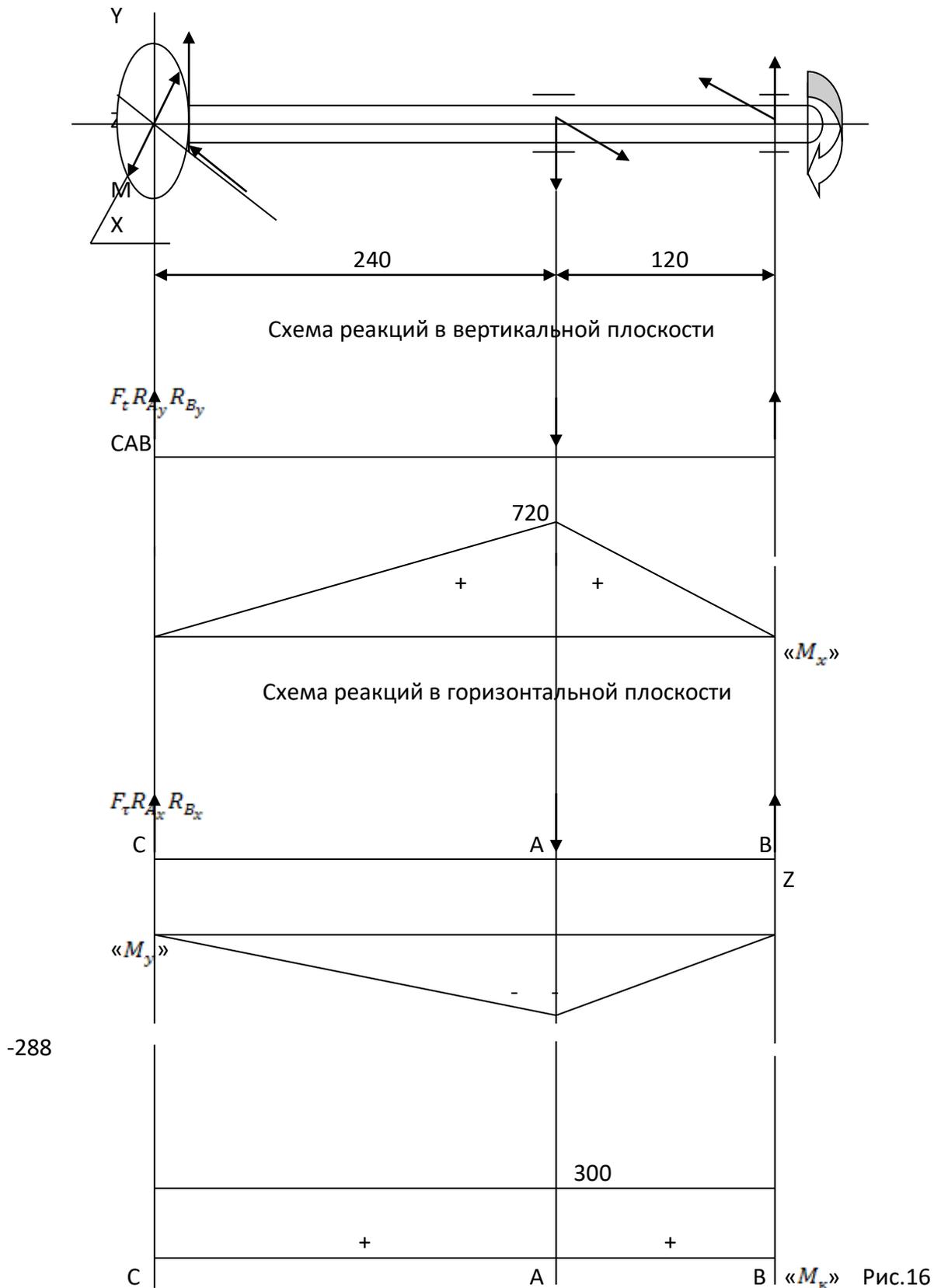
При рассмотрении темы следует ограничиться расчетами брусьев с сечениями, имеющими две или одну ось симметрии. Следует обратить внимание, что в противоположность прямому изгибу при косом изгибе силовая плоскость и плоскость изгиба не совпадают.

При рассмотрении внецентренного сжатия (растяжения) необходимо обратить внимание на то, что изучаемый метод расчета применим только для брусьев большой жесткости; кроме того, стремятся подбирать такие размеры поперечного сечения, чтобы во всех его точках не возникали растягивающие напряжения (нейтральная ось должна проходить вне сечения, не пересекая его).

**Пример №9.** Для стального вала (Рис.16) круглого сечения с одним зубчатым колесом передающим мощность  $P=18$  кВт при угловой скорости  $\omega = 60 \text{ рад/с}$ . Определить диаметр вала в опасном сечении, приняв  $[\sigma] = 60 \text{ МПа}$ , полагая  $F_t = 0.4 * F_r$ .

Решение:

Вал работает на совместные действия изгиба в двух плоскостях и кручение.



1. Момент передаваемый валом:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{18 \cdot 10^3}{60} = 300 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2. Окружная сила:

$$F_t = \frac{2 \cdot M}{D} = \frac{2 \cdot 300 \cdot 10^3}{200} = 3000 \text{ Н}$$

3. Радиальная сила:

$$F_r = 0.4 \cdot F_t = 0.4 \cdot 3000 = 1200 \text{ Н}$$

4. Для определения реакции в вертикальной плоскости от окружной силы.

Используем уравнения статики:

$$\sum M_A = 0 \quad F_t \cdot 0.24 - R_{By} \cdot 0.12 = 0$$

$$3000 \cdot 0.24 - R_{By} \cdot 0.12 = 0 \quad R_{By} = 6000 \text{ Н}$$

$$\sum M_B = 0 \quad F_t \cdot 0.36 - R_{Ay} \cdot 0.12 = 0$$

$$3000 \cdot 0.36 - R_{Ay} \cdot 0.12 = 0 \quad R_{Ay} = 9000 \text{ Н}$$

5. Проверка реакций в вертикальной плоскости:

$$\sum F_{iy} = 0 \quad F_t - R_{Ay} + R_{By} = 0 \quad 3000 - 9000 + 6000 = 0$$

6. Строим эпюру изгибающих моментов в вертикальной плоскости:

В сечении C  $M_C = 0$

В сечении A  $M_A = F_t \cdot 0.24 = 3000 \cdot 0.24 = 720 \text{ Н} \cdot \text{м}$

В сечении B  $M_B = 0$

7. Определяем реакции в горизонтальной плоскости:

$$\sum M_A = 0 \quad -F_r \cdot 0.24 + R_{Bx} \cdot 0.12 = 0$$

$$-1200 \cdot 0.24 + R_{Bx} \cdot 0.12 = 0 \quad R_{Bx} = 2400 \text{ Н}$$

$$\sum M_B = 0 \quad -F_r \cdot 0.36 + R_{Ax} \cdot 0.12 = 0$$

$$-1200 \cdot 0.36 + R_{Ax} \cdot 0.12 = 0 \quad R_{Ax} = 3600 \text{ Н}$$

8. Проверка реакций в горизонтальной плоскости:

$$\sum F_{ix} = 0 \quad -F_r + R_{Ax} - R_{Bx} = 0 \quad -1200 + 3600 - 2400 = 0$$

9. Строим эпюру изгибающих моментов в горизонтальной плоскости:

В сечении C  $M_C = 0$

В сечении A  $M_A = -F_r \cdot 0.24 = -1200 \cdot 0.24 = -288 \text{ Н} \cdot \text{м}$

В сечении B  $M_B = 0$

10. Значение крутящего момента в любом сечении вала:

$$M_k = M = 300 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

11. Из эпюр моментов следует, что опасное сечение вала расположено в точке A.

Определяем наибольшее значение эквивалентного момента:

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_k^2} = \sqrt{720^2 + 288^2 + 300^2} = 831.5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

12. Определяем диаметр вала в опасном сечении:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{ЭКВ}}}{0.1 \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{831.5 \cdot 1000}{0.1 \cdot 160}} = 37.3 \text{ мм}$$

Полученный результат округляем по ГОСТ 6636-36 до ближайшего значения из **ряда R10** : 10; 10.5; 11; 11.5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 52; 55; 60; 63; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 120; 125; 130; 140; 150;

160. **ПРИМЕЧАНИЕ:** В случае необходимости допускаются размеры: в интервале 12 - 26мм- кратные 0.5; в интервале 26-30мм- целые числа; в интервале 50-120мм- размер 115 и размеры, оканчивающиеся на 2 и 8; в интервале 120-160мм- кратные 5.

Принимаем диаметр вала  $d=38\text{мм}$ .

**Вопросы для самоконтроля.**

1. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении деталей, работающих на совместные действия изгиба и кручения.
2. Что такое эквивалентный момент.
3. Что такое эквивалентное напряжение.
4. На какие виды деформаций можно разложить деформацию косоугольного изгиба.
5. Из какого условия находится положение нейтральной оси при косоугольном изгибе, внецентренном сжатии.
6. Почему в случае одновременного действия изгиба и кручения оценку прочности производят, применяя гипотезы прочности.
7. Приведите примеры деталей работающих на изгиб с кручением.
8. Какие точки поперечного сечения являются опасными, если брус круглого поперечного сечения работает на изгиб с кручением.

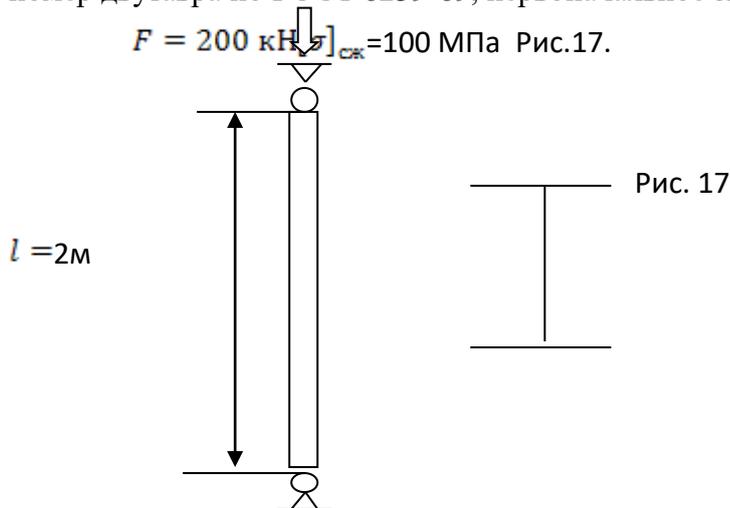
Тема 3.8 Продольный изгиб

При изучении темы следует добиваться ясного представления о характере явления продольного изгиба, критической силы, потери устойчивости. О практическом значении расчета на устойчивость.

Следует разделить понятия гибкости, условной гибкости, предельной гибкости. При расчетах на устойчивость следует подчеркнуть, что они обеспечивают работу сжатого стержня с запасом устойчивости, гарантируемым коэффициентом продольного изгиба.

**Пример №10** Стальной стержень длиной  $l = 2\text{м}$  сжимается силой  $F = 200\text{кН}$ , определить номер двутавра по ГОСТ 8239-89, первоначальное значение  $\varphi = 0.5$ .

$F = 200\text{кН}$ ,  $[\sigma]_{\text{сж}} = 100\text{МПа}$  Рис.17.



Решение:

1. Условие устойчивости имеет вид:  $\sigma = \frac{F}{\varphi * A} \leq [\sigma]$
2. Подбор сечения методом приближения:

$$A \geq \frac{F}{\varphi * [\sigma]} = \frac{200 * 10^3}{0.5 * 100} = 4000\text{мм}^2 = 40\text{см}^2$$

3. По  $A \geq 40 \text{ см}^2$ , подбираем из ГОСТ 8239-89 двутавр № 27 с  $A = 40.2 \text{ см}^2$

4. Определяем радиус инерции сечения:

$$i_{\min} = \sqrt{J_{\min}/A} = \sqrt{260/40} = 2.5 \text{ см}$$

5. Определяем гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{\mu * l}{i_{\min}} = \frac{1 * 200}{2.5} = 80$$

6. Определяем коэффициент продольного изгиба:  $\varphi = 0.75$

7. Проверяем условие устойчивости:

$$\sigma = \frac{F}{\varphi * A} = \frac{200 * 10^3}{0.75 * 4000} = 66.7 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 100 \text{ МПа}$$

*Вывод:* Условие устойчивости справедливо, убеждаемся в правильности выбранного сечения двутавра.

### ***Вопросы для самоконтроля.***

1. Что называется критической силой.
2. С какой величины начинают расчет задач на продольный изгиб.
3. В каких случаях используют формулы Эйлера, Ясинского.
4. Когда происходит потеря устойчивости.
5. Как определить коэффициент запаса устойчивости.
6. Каковы наиболее рациональные формы поперечных сечений сжатых стержней.

### Тема 3.9 Сложное сопротивление.

При изучении темы следует обратить внимание на:

- гипотезы прочности и их применение, уметь объяснять причины разрушения материала; - явление косоугольного изгиба особенно опасно для сечений со значительно отличающимися друг от друга главными моментами инерции (например, для двутавра);
- приложенная эксцентрично сжимающая сила может вызвать в поперечном сечении стержня растягивающее напряжение.

В связи с этим внецентренное сжатие является особенно опасным для стержней из хрупких материалов (кирпича, бетона), которые слабо сопротивляются растягивающим усилиям.

### ***Вопросы для самоконтроля.***

1. Сущность гипотезы наибольших касательных напряжений и удельной потенциальной энергии изменения формы.
2. Какая область применения гипотезы прочности.
3. Какой случай нагружения называется косым изгибом.
4. Какие элементы строительных конструкций работают на косом изгибе.
5. Может ли балка круглого сечения находиться в состоянии косоугольного изгиба.
6. Как определяют нормальные напряжения в сечениях балки при косом изгибе.
7. Как определяют перемещения сечений балки при косом изгибе.
8. Напишите условия прочности при косом изгибе по допускаемому напряжению и по предельному состоянию. Какие задачи могут быть решены с помощью этого условия.
9. Какой случай напряжения называется внецентренным сжатием (растяжением).

10. По каким формулам определяют нормальные напряжения в поперечных сечениях внецентренно нагруженного бруса большой жесткости? Какой вид имеет эпюра этих напряжений.
11. Как определяют положение нейтральной оси при внецентренном сжатии или растяжении.
12. Что такое ядро сечения? Как оно строится и в каких случаях нужно его построение.

### Тема 3.10 Прочность при переменных нагрузках.

При изучении темы следует обратить внимание на возникновение переменных напряжений, основные характеристики цикла, на понятие «усталость», прочность материалов при переменных нагрузках.

#### ***Вопросы для самоконтроля.***

1. Какие нагрузки называются динамическими.
2. Приведите примеры динамического действия нагрузки.
3. Что называется усталостью материала.
4. Что называется пределом выносливости? От каких факторов он зависит.

## Раздел 4. Статика сооружений.

### Тема 4.1 Основные понятия и определения.

При рассмотрении данной темы необходимо уяснить:

- какая существует связь между статикой сооружений и теоретической механикой, сопротивлением материалов и смежными специальными дисциплинами;
- основные рабочие гипотезы;
- классификацию сооружений и их расчетные схемы.

Данная тема изучается самостоятельно.

#### ***Вопросы для самоконтроля.***

1. Каковы задачи статики сооружений.
2. Что такое расчетная схема сооружения; От чего зависит ее выбор.
3. Как классифицируются сооружения; Каковы основные особенности расчетных схем каждого вида сооружений.
4. Как классифицируются опоры; Какие опорные реакции могут возникнуть в каждом их типе.
5. Какие существуют виды нагрузок.
6. Как определяются расчетные нагрузки.

### Тема 4.2 Исследования геометрической неизменяемости плоских стержневых систем.

При изучении темы следует уяснить, что системы могут быть геометрически неизменяемыми и мгновенно изменяемыми, но в строительной практике применяют только геометрически неизменяемые системы. Необходимо знать и уметь применять правила образования геометрически неизменяемых систем, производить анализ геометрической структуры (кинематический анализ). Необходимое условие геометрической неизменяемости требует, чтобы степень свободы рассматриваемой системы была равна нулю, т.е. чтобы:

$$W = 3 * Д - 2 * Ш - C_0, \text{ где:}$$

Д - число дисков; Ш – число простых шарниров;  $C_0$  - количество опорных связей.

#### ***Вопросы для самоконтроля.***

1. Какие системы называются геометрически неизменяемыми и мгновенно изменяемыми.
2. Каковы основные признаки геометрически неизменяемых систем.
3. Как называется геометрическая неизменяемость систем.
4. Каковы признаки мгновенной изменяемости систем.
5. Приведите примеры геометрически неизменяемой, изменяемой и мгновенно изменяемой систем; Произведите анализ их геометрической структуры.
6. Можно ли применять в строительстве изменяемые, мгновенно изменяемые и почти мгновенно изменяемые системы; Если нельзя, то почему.
7. Каково различие между статически определяемыми и неопределяемыми системами.
8. Какие связи называют необходимыми, а какие лишними.

### Тема 4.3 Многопролетные статически определимые (шарнирные) балки.

При изучении темы следует уяснить преимущества и недостатки шарнирных балок по сравнению с другими балками (простыми и неразрезными), перекрывающими те же пролеты и несущие такую же нагрузку.

Необходимо знать правила размещения промежуточных шарниров, обеспечивающих статическую неопределимость и геометрическую неизменяемость многопролетных балок, понимать взаимодействие элементов, составляющих шарнирные балки различных типов, уметь составлять схемы взаимодействия этих элементов, знать порядок их расчета и монтажа, построение схем и эпюр.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Чем отличаются многопролетные определяемые балки от неразрезных.
2. Какие требования предъявляются к количеству и размещению промежуточных шарниров.
3. Какие существуют основные типы шарнирных балок, и из каких элементов они состоят.
4. Приведите возможные варианты размещения промежуточных шарниров для получения шарнирных статически неразрезных балок из неразрезной пятипролетной балки с шарнирными опорами и из неразрезной пятипролетной балки с одним защемленным концом. Составьте схемы взаимодействия элементов шарнирных балок.
5. Каков порядок расчета и последовательность монтажа элементов шарнирных балок.
6. Охарактеризуйте методы расчета шарнирных балок с составлением и без составления схемы взаимодействия элементов. Каковы достоинства и недостатки каждого из методов.
7. В чем достоинства равномоментных шарнирных балок.

### Тема 4.4 Статически определимые плоские рамы.

При изучении темы, приступая к расчету рамы, надо убедиться в ее статической определимости и неизменяемости. Если рама представляет собой брус ломаного очертания, имеющий одну шарнирно-неподвижную, а другую шарнирно-подвижную, и не имеет промежуточных шарниров, то она неизменяема и статически определима. Для определения опорных реакций такой рамы достаточно трех уравнений статики. Если рама прикреплена к земле более чем тремя опорными стержнями и имеет промежуточные шарниры, то проверку статической определимости удобнее всего произвести, убедившись в соблюдении условия:

$$L = 3 * K - Ш = 0, \text{ где:}$$

L – число лишних связей (степень статической неопределимости);

K – число замкнутых контуров;

Ш – суммарное число простых и приведенных к ним сложных (кратных) шарниров.

Необходимо научиться строить эпюры сил и изгибающих моментов для плоских рам.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Назовите особенности рамных конструкций.
2. Каково различие в определении опорных реакций статически определимых рам, не имеющих промежуточных шарниров, и рам с промежуточными шарнирами.
3. Как определяются знаки поперечных сил, изгибающих моментов и продольных сил при расчете рам.
4. Как строятся эпюры  $Q_x$ ,  $M_x$  и N для рам.
5. Как проверить правильность построения эпюр  $Q_x$ ,  $M_x$  и N для статически определимых рам.

### Тема 4.5 Трехшарнирные арки.

При изучении темы необходимо уяснить принципиальное отличие арок от криволинейных балок и уметь обосновать экономическое преимущество первых перед последним и тех же очертаний и пролетов при прочих равных условиях.

При определении опорных реакций трехшарнирной балки надо обратить внимание на составление дополнительного уравнения для нахождения распора. В этом уравнении изгибающий момент в ключевом шарнире должен быть равен нулю.

Следует усвоить, что для построения эпюр внутренних усилий от действия на арку **только равномерно распределенной нагрузки** надо определить эти усилия в произвольном сечении, подставляя в полученные выражения значения  $x$ , получить значения соответствующих усилий в различных (конкретных) сечениях и по этим значениям построить соответствующие эпюры. В случае действия на арку **сосредоточенных сил**, внутренние усилия надо определить на каждом участке обязательно в сечениях, соответствующих точкам приложения сосредоточенных сил, а также в промежуточных сечениях каждого участка. *Чем чаще будут взяты промежуточные сечения, тем точнее будут построены эпюры.* При небольших расстояниях между сосредоточенными силами достаточно определить значения  $Q, M$  и  $N$  в начале каждого участка, посередине и в конце его. Следует научиться определять внутренние усилия в произвольном сечении арки.

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. В чем отличие распорной системы от без распорной.
2. Каково назначение затяжки (в случае устройства арки с затяжкой).
3. Как определить силу в затяжке.
4. По каким правилам определяют поперечные силы, изгибающие моменты и продольные силы в сечениях арки.
5. Почему для построения эпюр  $Q_x, M_x$  и  $N$  при действии на арку сосредоточенных сил недостаточно определить значение этих внутренних силовых факторов в начале и в конце каждого участка, чего, как известно, достаточно для построения эпюр для балок с прямой осью.
6. Каков порядок и принцип построения многоугольника и кривой давления.
7. Что такое рациональное очертание оси арки.
8. Что называется сводом.
9. В чем сходство расчета арки и свода.

### Тема 4.6 Статически определимые плоские фермы.

Следует уяснить экономическую целесообразность перехода от перекрытия пролетов сплошными балками к перекрытию их фермами.

При анализе геометрической неизменяемости и статической определимости ферм рекомендуется пользоваться формулой  $C_{\Phi} = 2 * n - 3$ , позволяющей определить минимально необходимое для геометрической неизменяемости количество стержней фермы и выражающей условие статической определимости.  $C_{\Phi}$  - число стержней фермы;  $n$  - число узлов.

При аналитическом определении усилий в стержнях фермы надо стремиться к тому, чтобы усилие в каждом стержне определялось независимо от усилий в других стержнях. Поскольку этот вопрос решается применением метода сечений, то задача сводится:

- а) к выбору способа расчленения фермы на две или более части;
- б) к составлению уравнения статического равновесия для той части фермы, которая остается после отбрасывания другой ее части.

**Необходимо усвоить три основных способа определения усилий: вырезания узлов, моментных точек, проекций. При этом надо уяснить, что при расчетах ферм приходится этими тремя способами и, следовательно, нельзя считать какой-либо из них лучше, все они дополняют друг друга.**

Следует научиться определять усилия в частных случаях равновесия вырезаемых узлов без составления и решения уравнений равновесия системы.

При определении величин и знаков усилий графическим способом путем построения диаграммы Максвелла-Кремоны необходимо обратить внимание на соблюдение определенного порядка обхода контура фермы и вырезаемых узлов (по или против часовой стрелки). Надо усвоить, что правильное построение диаграммы возможно только при тщательном соблюдении линейного и силового масштабов, а линии действия стержней на диаграмме должны быть строго параллельны соответствующим стержням расчетной схемы фермы.

Очень важно уметь правильно определять расчетные узловые нагрузки и расчетные усилия в стержнях стропильных ферм от действия постоянных и временных нагрузок при наиболее невыгодных их сочетаниях.

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Из каких элементов состоят фермы.
2. Каковы преимущества фермы по сравнению с балкой.
3. Приведите пример геометрически неизменяемой статически определимой фермы. Образуйте из нее геометрически изменяемую систему, оставив то же количество стержней.
4. Какого рода деформации испытывают стержни шарнирной фермы при узловой и вне узловой передаче нагрузки.
5. В чем сущность определения сил в стержнях ферм способами вырезания узлов, моментных точек и проекций.
6. Каковы принципы и порядок построения диаграммы Максвелла-Кремоны.
7. Как с помощью диаграммы Максвелла-Кремоны определить значение и знак силы в стержне.
8. Как определяют узловые нагрузки от снега и ветра. Как определяют расчетные силы в стержнях ферм от действия постоянных и временных нагрузок.

### Тема 4.7 Определение перемещений в статически определимых плоских системах.

Определение перемещений необходимо при расчете сооружений на жесткость и при расчете статически неопределимых систем.

При изучении темы необходимо рассмотреть основные теоремы об упругих системах (обратить внимание на теорему о взаимности перемещений), усвоить систему обозначения и смысл индексов перемещений, разобраться в выводе общей формулы перемещений.

Важное практическое значение имеет правило Верещагина. Усвоение этого правила надо закрепить решением примеров, обратив внимание на взаимное перемножение сложных эпюр путем деления (расчленения) одной из них на простые части. Необходимо уметь определять перемещение в балках и рамах. В подавляющем большинстве случаев вычисление интеграла Мора можно произвести по правилу Верещагина.

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Какими буквами принято обозначать перемещения. Что означают индексы, ставящиеся при этих буквах.
2. Напишите общую формулу для определения перемещений (формулу Мора). Что означают входящие в нее величины.

3. Каков порядок вычисления перемещений по формуле Мора.
4. Назовите основные виды перемещений в плоских стержневых системах. Какая единичная сила, прикладываемая по направлению искомого перемещения, соответствует каждому из названных перемещений.
5. На что указывает положительный и на что отрицательный результат вычисленного перемещения.
6. Приведите пример на определения перемещения с применением правила Верещагина, в котором при перемножении эпюр площадь одной из них придется разбивать на простые формулы. Вычислите это перемещение.
7. Когда при перемножении эпюр ставится знак плюс и когда знак минус.
8. Сформулируйте теорему Максвелла о взаимности перемещений.

#### Тема 4.8 Основы расчета статически неопределимых систем методом сил.

Тема рассматривает метод сил, который является одним из основных при расчете статически неопределимых систем.

Освоение материала следует начать с изучения понятия статической неопределимости и способов подсчета числа лишних связей (степени статической неопределимости).

Важным этапом расчета является выбор основной системы. Правильно выбранная основная система может значительно упростить расчет.

Приобретение навыков выбора основной системы может быть достигнуто после усвоения приемов расчета. Поэтому сначала следует практиковаться в выборе основных систем для расчета одной и той же статически неопределимой рамы. При выборе основных систем необходимо следить за тем, чтобы они были геометрически неизменяемы. Выбирая ту или иную систему, надо тут же указывать лишние неизвестные.

Сопоставление канонических уравнений для расчета статически неопределимых систем методом сил обычно не представляет труда, но важно понимание физического смысла каждого члена уравнений.

Перемещения, входящие в канонические уравнения в качестве коэффициентов при неизвестных и свободных членах, следует вычислять по правилу Верещагина, учитывая, что эпюры, подлежащие перемножению, соответствуют индексам при перемещениях  $\sigma$  и  $\Delta$ . Так, если определяются перемещения  $\Delta_{1p}$ , то перемножаются эпюры  $M_1$  и  $M_p$  если определяется перемещение  $\sigma_{2-3}$ , то перемножаются эпюры  $M_2$  и  $M_3$  и т.д.

В результате постановки найденных значений в канонические уравнения и решения полученной системы уравнений находят значения лишних неизвестных, после чего система становится определимой.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Какие системы называют статически неопределимыми.
2. В чем их преимущества и недостатки.
3. Как определяется степень статической неопределимости различного вида систем.
4. Каков смысл понятия «лишние связи».
5. В чем сущность расчета статически неопределимых систем методом сил.
6. Какой смысл выражает то или иное каноническое уравнение метода сил.
7. Как записывают канонические уравнения.
8. Какие требования предъявляются к выбору основной системы.
9. Какие способы, упрощающие расчет, можно применить к симметричной статически неопределимой раме и в чем их сущность.

10. В чем заключаются упрощения в результате использования рациональной опорной системы.
11. Почему при деформационной проверке окончательной эпюры моментов путем ее перемножения с любой из единичных эпюр должен получиться нуль.
12. В чем заключается расчет рам с помощью таблиц.

#### Тема 4.9 Неразрезные балки.

Степень статической неопределимости неразрезных балок рекомендуется определять по формуле:

$$L = C_{оп} - 3, \text{ где:}$$

$L$  – степень статической неопределимости;

3 – число уравнений статики;

$C_{оп}$  - число опорных стержней.

Следует иметь в виду, что нумерация опор и пролетов неразрезной балки может быть произвольной. Однако в подавляющем большинстве случаев опоры принято обозначать слева направо числами  $-0, 1, 2, \dots$ , а длину пролетов (также слева направо) -  $l_1, l_2, l_3, \dots$

Таким образом, номер пролета совпадает с номером правой его опоры. При данной нумерации уравнение трех моментов для опоры будет иметь вид:

$$M_{n-1} * l_n + 2 * M_n (l_n + l_{n-1}) + M_n l_{n+1} = -6 * (B_n^\phi + A_{n+1}^\phi).$$

Если опору, для которой составляется уравнение трех моментов (опору  $n$ ), назвать средней, опору  $n-1$ -левой, опору  $n+1$ -правой, пролет  $l_n$ -левым, пролет  $l_{n+1}$ -правым, то уравнение трех моментов для рассматриваемой опоры в общем виде будет:

$$M_{лев} * l_{лев} + 2 * M_{ср} (l_{лев} + l_{пр}) + M_{пр} l_{пр} = -6 * (B_{лев}^\phi + A_{пр}^\phi).$$

Фиктивные опорные реакции, стоящие в правой части уравнения трех моментов, следует определить по формулам таблиц.

При расчете неразрезной балки с шарнирными опорами уравнение трех моментов должно быть составлено для каждой промежуточной опоры.

Если одна из опор закреплена, то ее мысленно заменяют шарнирной, добавив при этом фиктивный пролет  $l_\phi \rightarrow 0$ .

В этом случае рассматриваемая крайняя опора становится как бы промежуточной и для нее составляется еще одно уравнение трех моментов.

При составлении уравнений трех моментов надо исключать член уравнения, содержащий момент над крайней шарнирной опорой, если со стороны этой опоры нет консоли. Если же консоль имеется, то момент над крайней опорой должен входить в составляемое уравнение как известная величина, численно равная алгебраической сумме моментов всех сил, приложенных к консоли, относительно точки балки над этой опорой.

После решения полученной системы уравнения трех моментов станут известны значения всех опорных моментов. Дальнейший расчет можно вести так, как он приведен в учебном пособии, или пользуясь формулами для определения изгибающего момента и поперечной силы в любом сечении балки. Необходимо научиться строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Какой вид имеет уравнение трех моментов. Выведите это уравнение, используя каноническое уравнение метода сил.

2. Напишите уравнение трех моментов для опоры №3 пятипролетной, четырехпролетной (без консолей), четырехпролетной (с консолью справа), трехпролетной (с защемленным правым концом) неразрезных балок при обозначении опор слева направо числами 0,1,2,..., а длин пролетов  $l_1, l_2, l_3, \dots$
3. Как определяют опорные реакции неразрезных балок.
4. Объясните порядок расчета неразрезных балок.
5. Как строится суммарная эпюра изгибающих моментов в пролете с равномерно распределенной нагрузкой.
6. Как определяется максимальный изгибающий момент в пролете с равномерно распределенной нагрузкой.
7. Какие пролеты шестипролетной неразрезной балки следует загрузить временной нагрузкой для получения максимальных значений изгибающего момента в третьем пролете, изгибающего момента над второй слева опорой, опорной реакции третьей опоры.
8. Что такое огибающая эпюра, и с какой целью она строится.

#### Тема 4.10 Подпорные стены.

При изучении темы необходимо усвоить, что является активным и пассивным давлением, как определяются прочность и устойчивость подпорных стен.

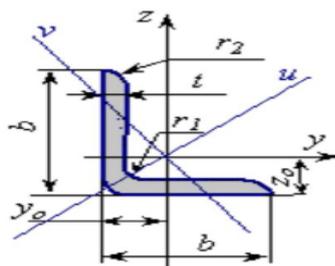
##### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Что называется подпорной стеной.
2. Что называется сыпучим и что идеально сыпучим телом.
3. Каково различие между углом внутреннего трения и углом естественного откоса несвязанного рыхлого грунта.
4. В чем сущность теории предельного равновесия.
5. Что называется активным и пассивным давлением. Как они определяются.
6. По какому закону изменяется давление грунта по высоте подпорной стены.
7. Что такое интенсивность давления грунта на стену и как она изменяется по высоте подпорной стены.
8. Как учитываются при расчете влияние сплошной равномерно распределенной нагрузки, находящейся в пределах призмы обрушения.
9. Каково влияние грунтовых вод на давление, воспринимаемое подпорной стеной.
10. Как проверяется устойчивость подпорных стен против сдвига и опрокидывания по методу предельных состояний.
11. Как проверяется прочность массивных подпорных стен из камня и бетона и прочность грунтового основания под подошвой фундамента по методу предельных состояний.
12. Почему под подошвой фундамента нежелательно возникновение растягивающих напряжений, хотя прочность сжатой зоны основания обеспечена.
13. От чего зависит выбор поперечного профиля подпорной стены.
14. В чем эффективность применения тонкоэлементных подпорных стен уголкового профиля.

## Раздел 5. Справочные материалы.

### 5.1 Сортамент

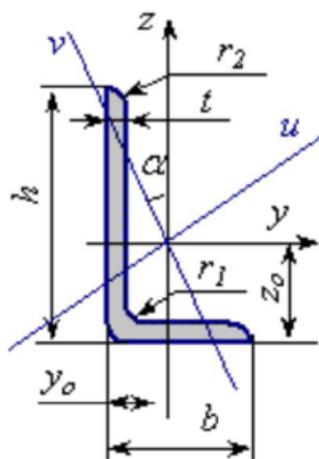
#### Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93\*



$h$  – высота профиля,  
 $b$  – ширина профиля,  
 $t$  – толщина стенки профиля,  
 $r_1$  – радиус сгиба,  
 $r_2$  – радиус сгиба,  
 $n_1$  – гибкость полки,  
 $n_2$  – гибкость стенки,  
 $A$  – площадь поперечного сечения,  
 $I_y$  – момент инерции сечения относительно оси  $y$ ,  
 $W_y$  – момент сопротивления сечения относительно оси  $y$ ,  
 $i_y$  – радиус инерции относительно оси  $y$ ,  
 $S_y$  – статический момент отсеченной площади относительно оси  $y$ ,  
 $I_z$  – момент инерции сечения относительно оси  $z$ ,  
 $W_z$  – момент сопротивления сечения относительно оси  $z$ ,  
 $i_z$  – радиус инерции относительно оси  $z$ ,  
 $y_0$  – положение центра тяжести сечения,  
 $P$  – масса профиля.

	$b$	$t$	$r_1$	$r_2$	$A$	$I_y=I_z$	$W_y$	$i_y$	$I_u$	$i_u$	$I_v$	$W_{vo}$	$i_v$	$I_{yz}$	$y_0$	$P$
	мм	мм	мм	мм	см <sup>2</sup>	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см	см <sup>4</sup>	см	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см	см <sup>4</sup>	мм	кг
L20×3	20	3	3.5	1.2	1.13	0.4	0.28	0.59	0.6	0.75	0.2	0.2	0.39	0.2	6	0.89
L20×4	20	4	3.5	1.2	1.46	0.5	0.37	0.58	0.8	0.73	0.2	0.24	0.38	0.3	6.4	1.15
L25×3	25	3	3.5	1.2	1.43	0.8	0.46	0.75	1.3	0.95	0.3	0.33	0.49	0.5	7.3	1.12
L25×4	25	4	3.5	1.2	1.86	1	0.59	0.74	1.6	0.93	0.4	0.41	0.48	0.6	7.6	1.46
L25×5	25	5	3.5	1.2	2.27	1.2	0.71	0.73	1.9	0.92	0.5	0.47	0.48	0.7	8	1.78
L28×3	28	3	4	1.3	1.62	1.2	0.58	0.85	1.8	1.07	0.5	0.42	0.55	0.7	8	1.27
L30×3	30	3	4	1.3	1.74	1.5	0.67	0.91	2.3	1.15	0.6	0.53	0.59	0.8	8.5	1.36
L30×4	30	4	4	1.3	2.27	1.8	0.87	0.8	2.9	1.13	0.8	0.61	0.58	1.1	8.9	1.78
L30×5	30	5	4	1.3	2.78	2.2	1.06	0.89	3.5	1.12	0.9	0.71	0.58	1.3	9.3	2.18
L32×3	32	3	4.5	1.5	1.86	1.8	0.77	0.97	2.8	1.23	0.7	0.59	0.63	1	8.9	1.46
L32×4	32	4	4.5	1.5	2.43	2.3	1	0.96	3.6	1.21	0.9	0.71	0.62	1.3	9.4	1.91
L35×3	35	3	4.5	1.5	2.04	2.3	0.93	1.07	3.7	1.35	1	0.71	0.69	1.4	9.7	1.6
L35×4	35	4	4.5	1.5	2.17	3	1.21	1.06	4.8	1.33	1.3	0.88	0.68	1.7	10.1	2.1
L35×5	35	5	4.5	1.5	3.28	3.6	1.47	1.05	5.7	1.32	1.5	1.02	0.68	2.1	10.5	2.58
L40×3	40	3	5	1.7	2.35	3.6	1.22	1.23	5.6	1.55	1.5	0.95	0.79	2.1	10.9	1.85
L40×4	40	4	5	1.7	3.08	4.6	1.6	1.22	7.3	1.53	1.9	1.19	0.78	2.7	11.3	2.42
L40×5	40	5	5	1.7	3.79	5.5	1.95	1.21	8.7	1.52	2.3	1.39	0.78	3.2	11.7	2.98
L40×6	40	6	5	1.7	4.48	6.4	2.3	1.2	10.1	1.50	2.7	1.58	0.78	3.7	12.1	3.52
L45×3	45	3	5	1.7	2.65	5.1	1.56	1.39	8.1	1.75	2.1	1.24	0.89	3	12.1	2.08
L45×4	45	4	5	1.7	3.48	6.6	2.04	1.38	10.5	1.74	2.7	1.54	0.89	3.9	12.6	2.73
L45×5	45	5	5	1.7	4.29	8	2.51	1.37	12.7	1.72	3.3	1.81	0.88	4.7	13	3.37
L45×6	45	6	5	1.7	5.08	9.4	2.95	1.36	14.8	1.71	3.9	2.06	0.88	5.4	13.4	3.99
L50×3	50	3	5.5	1.8	2.96	7.1	1.94	1.55	11.3	1.95	3	1.57	1	4.2	13.3	2.32
L50×4	50	4	5.5	1.8	3.89	9.2	2.54	1.54	14.6	1.94	3.8	1.95	0.99	5.4	13.8	3.05
L50×5	50	5	5.5	1.8	4.80	11.2	3.13	1.53	17.8	1.92	4.6	2.3	0.98	6.6	14.2	3.77
L50×6	50	6	5.5	1.8	5.69	13.1	3.69	1.52	20.7	1.91	5.4	2.63	0.98	7.7	14.6	4.47
L50×7	50	7	5.5	1.8	6.56	14.8	4.23	1.5	23.5	1.89	6.2	2.93	0.97	8.6	15	5.15
L50×8	50	8	5.5	1.8	7.41	16.5	4.76	1.49	26	1.87	7	3.22	0.97	9.5	15.3	5.82
L56×4	56	4	6	2	4.38	13.1	3.21	1.73	20.8	2.18	5.4	2.52	1.11	7.7	15.2	3.44
L56×5	56	5	6	2	5.41	16	3.96	1.72	25.4	2.16	6.6	2.97	1.1	9.4	15.7	4.25
L60×4	60	4	7	2.3	4.72	16.2	3.7	1.85	25.7	2.33	6.7	2.93	1.19	9.5	16.2	3.71
L60×5	60	5	7	2.3	5.83	19.8	4.56	1.84	31.4	2.32	8.2	3.49	1.18	11.6	16.6	4.58
L60×6	60	6	7	2.3	6.92	23.2	5.4	1.83	36.8	2.31	9.6	3.99	1.18	13.6	17	5.43
L60×8	60	8	7	2.3	9.04	29.6	7	1.81	46.8	2.27	12.3	4.9	1.17	17.2	17.8	7.1
L60×10	60	10	7	2.3	11.08	35.3	8.52	1.79	55.6	2.24	15	5.7	1.16	20.3	18.5	8.7
L63×4	63	4	7	2.3	4.96	18.9	4.09	1.95	29.9	2.45	7.8	3.26	1.25	11	16.9	3.9
L63×5	63	5	7	2.3	6.13	23.1	5.05	1.94	36.8	2.44	9.5	3.87	1.25	13.7	17.4	4.81
L63×6	63	6	7	2.3	7.28	27.1	5.98	1.93	42.9	2.43	11.2	4.44	1.24	15.9	17.8	5.72
L65×6	65	6	7	2.3	7.52	29.8	6.39	1.99	47.4	2.51	12.3	4.77	1.28	17.5	18.3	5.91
L65×8	65	8	7	2.3	9.84	38.1	8.3	1.97	60.4	1.27	15.9	13.15	2.48	22.3	19	7.73
L70×4	70	4.5	8	2.7	6.20	29	5.67	2.16	46	2.72	12	4.53	1.39	17	18.8	4.87
L70×5	70	5	8	2.7	6.86	31.9	6.27	2.16	50.7	2.72	13.2	4.92	1.39	18.7	19	5.38
L70×6	70	6	8	2.7	8.15	37.6	7.43	2.15	59.6	2.71	15.5	5.66	1.38	22.1	19.4	6.39
L70×7	70	7	8	2.7	9.42	43	8.57	2.14	68.2	2.69	17.8	6.31	1.37	25.2	19.9	7.39
L70×8	70	8	8	2.7	10.67	48.2	9.68	2.12	76.3	2.68	20	6.99	1.37	28.2	20.2	8.37
L70×10	70	10	8	2.7	13.11	57.9	11.82	2.1	91.5	2.64	24.3	8.17	1.36	33.6	21	10.29
L75×5	75	5	9	3	7.39	39.5	7.21	2.31	62.7	2.91	16.4	5.74	1.49	23.1	20.2	5.8

## Уголок неравнополочный по ГОСТ 8510-86\*



$h$  – высота профиля,  
 $b$  – ширина профиля,  
 $t$  – толщина стенки профиля,  
 $r_1$  – радиус сгиба,  
 $r_2$  – радиус сгиба,  
 $n_1$  – гибкость полки,  
 $n_2$  – гибкость стенки,  
 $A$  – площадь поперечного сечения,  
 $I_y$  – момент инерции сечения относительно оси  $y$ ,  
 $W_y$  – момент сопротивления сечения относительно оси  $y$ ,  
 $i_y$  – радиус инерции относительно оси  $y$ ,  
 $S_y$  – статический момент отсеченной площади относительно оси  $y$ ,  
 $I_z$  – момент инерции сечения относительно оси  $z$ ,  
 $W_z$  – момент сопротивления сечения относительно оси  $z$ ,  
 $i_z$  – радиус инерции относительно оси  $z$ ,  
 $y_0$  – положение центра тяжести сечения,  
 $P$  – масса профиля.

	$h$	$b$	$t$	$r_1$	$r_2$	$A$	$I_y$	$W_y$	$i_y$	$I_z$	$W_z$	$i_z$	$I_v$	$W_v$	$i_v$	$y_0$	$z_0$	$I_{yz}$	$tga$	$P$
	мм	мм	мм	мм	мм	см <sup>2</sup>	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	мм	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	мм	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	мм	мм	мм	см <sup>4</sup>	Рад	кг
L25×16×3	25	16	3	3.5	1.20	1.16	0.7	0.43	7.8	0.20	0.19	4.4	0.1	0.16	3.4	4.2	8.6	0.2	0.392	0.91
L30×20×3	30	20	3	3.5	1.20	1.43	1.3	0.62	9.4	0.40	0.3	5.6	0.3	0.25	4.3	5.1	10	0.4	0.427	1.12
L30×20×4	30	20	4	3.5	1.20	1.86	1.6	0.82	9.3	0.60	0.39	5.5	0.3	0.32	4.3	5.4	10.4	0.5	0.421	1.45
L32×20×3	32	20	3	3.5	1.20	1.49	1.5	0.72	10.1	0.50	0.3	5.5	0.3	0.25	4.3	4.9	10.8	0.5	0.382	1.17
L32×20×4	32	20	4	3.5	1.20	1.94	1.9	0.93	10	0.60	0.39	5.4	0.3	0.33	4.3	5.3	11.2	0.5	0.374	1.52
L40×25×3	40	25	3	4	1.30	1.89	3.1	1.14	12.7	0.90	0.49	7	0.6	0.41	5.4	5.9	13.2	1	0.385	1.48
L40×25×4	40	25	4	4	1.30	2.47	3.9	1.49	12.6	1.20	0.63	6.9	0.7	0.52	5.4	6.3	13.7	1.2	0.281	1.94
L40×25×5	40	25	5	4	1.30	3.03	4.7	1.82	12.5	1.40	0.77	6.8	0.9	0.64	5.3	6.6	14.1	1.4	0.374	2.37
L40×30×4	40	30	4	4	1.30	2.67	4.2	1.54	12.5	2.00	0.91	8.7	1.1	0.75	6.4	7.8	12.8	1.7	0.544	2.26
L40×30×5	40	30	5	4	1.30	3.28	5	1.88	12.4	2.40	1.11	8.6	1.3	0.91	6.4	8.2	13.2	2	0.539	2.46
L45×28×3	45	28	3	5	1.70	2.14	4.4	1.45	14.8	1.30	0.61	7.9	0.8	0.52	6.1	6.4	14.7	1.4	0.382	1.68
L45×28×4	45	28	4	5	1.70	2.8	5.7	1.9	14.2	1.70	0.8	7.8	1	0.67	6	6.8	15.1	1.8	0.379	2.2
L50×32×3	50	32	3	5.5	1.80	2.42	6.2	1.82	16	2.00	0.81	9.1	1.2	0.68	7	7.2	16	2	0.403	1.9
L50×32×4	50	32	4	5.5	1.80	3.17	8	2.38	15.9	2.60	1.05	9	1.5	0.88	6.9	7.6	16.5	2.6	0.401	2.4
L56×36×4	56	36	4	6	2.00	3.58	11.4	3.01	17.8	3.70	1.34	10.2	2.2	1.13	7.8	8.4	18.2	3.7	0.406	2.81
L56×36×5	56	36	5	6	2.00	4.41	13.8	3.7	17.7	4.50	1.65	10.1	2.7	1.37	7.8	8.8	18.7	4.5	0.404	3.46
L63×40×4	63	40	4	7	2.30	4.04	16.3	3.83	20.1	5.20	1.67	11.3	3.1	1.41	8.7	9.1	20.3	5.2	0.397	3.17
L63×40×5	63	40	5	7	2.30	4.98	19.9	4.72	20	6.30	2.05	11.2	3.7	1.72	8.6	9.5	20.8	6.4	0.396	3.91
L63×40×6	63	40	6	7	2.30	5.9	23.3	5.58	19.9	7.30	2.42	11.1	4.4	2.02	8.6	9	21.2	7.4	0.393	4.63
L63×40×8	63	40	8	7	2.30	7.68	29.6	7.22	19.6	9.10	3.12	10.9	5.6	2.6	8.5	10.7	22	9.3	0.386	6.03
L65×50×5	65	50	5	6	2.00	5.56	23.4	5.2	20.5	12.10	3.23	14.7	6.4	2.68	10.7	12.6	20	9.8	0.576	4.36
L65×50×6	65	50	6	6	2.00	6.6	27.5	6.16	20.4	14.10	3.82	14.6	7.5	3.15	10.7	13	20.4	11.5	0.575	5.18
L65×50×7	65	50	7	6	2.00	7.62	31.3	7.08	20.3	16.00	4.38	14.5	8.6	3.59	10.6	13.4	20.8	12.9	0.571	5.93
L65×50×8	65	50	8	6	2.00	8.62	35	7.99	20.2	18.90	4.93	14.4	9.6	4.02	10.6	13.7	21.2	13.6	0.57	6.77

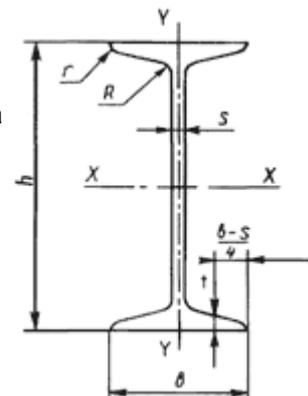
## ГОСТ 8239-89: Балки двутавровые стальные горячекатаные

Настоящий стандарт устанавливает сортамент горячекатаных стальных двутавровых балок с уклоном внутренних граней полок.

1. Поперечное сечение двутавровых балок должно соответствовать указанному на чертеже.

*h* - высота балки; *b* - ширина полки; *s* - толщина стенки; *t* - средняя толщина полки; *R* - радиус внутреннего закругления; *r* - радиус закругления полки;

Примечание. Уклон внутренних граней полок должен быть 6-12 %.



2. Номинальные размеры двутавровых балок, площадь поперечного сечения, масса и справочные значения для осей должны соответствовать приведенным в таблице.

N двут.	Размеры						Площадь попер. сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей						
	h	b	s	t	R	r			X - X				Y - Y		
	не более мм								I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>
						см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см	см <sup>3</sup>	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см			
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54

### Швеллеры ГОСТ 8240-89 подразделяются на:

- стальные горячекатаные (ГОСТ 8240-89);
- стальные специальные (ГОСТ 19425-74);
- стальные гнутые равнополочные (ГОСТ 8278-75);
- стальные гнутые неравнополочные (ГОСТ 8281-80).

### Швеллеры ГОСТ 8240-89 делятся на:

- с уклоном внутренних граней полок: № 5; 6,5; 8; 10; 12; 14; 16; 16а; 18; 18а; 20; 22; 24; 27; 30; 33; 36; 40.
- с параллельными гранями полок (П): № 5П; 6,5П; 8П; 10П; 12П; 14П; 16аП; 18П; 18аП; 20П; 22П; 24П; 27П; 30П; 33П; 36П; 40П.

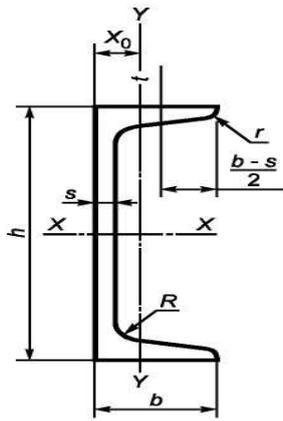


Рисунок 1

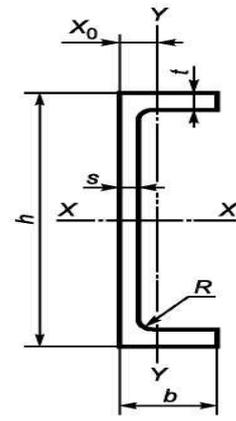


Рисунок 2

Таблица 1 — Швеллеры с уклоном внутренних граней полок

Номер швеллера серии У	h	b	s	t	R	r	Площадь поперечного сечения F, см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей							X <sub>0</sub> , см
									X—X				Y—Y			
									I <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	S <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , см	
5У	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5У	65	36	4,4	7,2	6,0	2,5	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8У	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	23,30	12,80	4,75	1,19	1,31
10У	100	46	4,5	7,6	7,0	3,0	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,40	20,40	6,46	1,37	1,44
12У	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	29,60	31,20	8,52	1,53	1,54
14У	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,80	45,40	11,00	1,70	1,67
16У	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	54,10	63,30	13,80	1,87	1,80
16аУ	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	59,40	78,80	16,40	2,01	2,00
18У	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	69,80	86,00	17,00	2,04	1,94
18аУ	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	76,10	105,00	20,00	2,18	2,13
20У	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	87,80	113,00	20,50	2,20	2,07
22У	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	110,00	151,00	25,10	2,37	2,21
24У	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	139,00	208,00	31,60	2,60	2,42
27У	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	178,00	262,00	37,30	2,73	2,47
30У	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	224,00	327,00	43,60	2,84	2,52
33У	330	105	7,0	11,7	13,0	5,0	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	281,00	410,00	51,80	2,97	2,59
36У	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	350,00	513,00	61,70	3,10	2,68
40У	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	61,50	48,30	15220,0	761,0	15,70	444,00	642,00	73,40	3,23	2,75

Таблица 2 — Швеллеры с параллельными гранями полок

Номер швеллера серии П	h	b	s	t	R	r	Площадь поперечного сечения F, см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей							X <sub>0</sub> , см
									X—X				Y—Y			
									I <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	S <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , см	
5П	50	32	4,4	7,0	6,0	3,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,61	5,95	2,99	0,98	1,21
6,5П	65	36	4,4	7,2	6,0	3,5	7,51	5,90	48,8	15,0	2,55	9,02	9,35	4,06	1,12	1,29
8П	80	40	4,5	7,4	6,5	3,5	8,98	7,05	89,8	22,5	3,16	13,30	13,90	3,31	1,24	1,38
10П	100	46	4,5	7,6	7,0	4,0	10,90	8,59	175,0	34,9	3,99	20,50	22,60	7,37	1,44	1,53
12П	120	52	4,8	7,8	7,5	4,5	13,30	10,40	305,0	50,8	4,79	29,70	34,90	9,84	1,62	1,66
14П	140	58	4,9	8,1	8,0	4,5	15,60	12,30	493,0	70,4	5,61	40,90	51,50	12,90	1,81	1,82
16П	160	64	5,0	8,4	8,5	5,0	18,10	14,20	750,0	93,8	6,44	54,30	72,80	16,40	2,00	1,97
16аП	160	68	5,0	9,0	8,5	5,0	19,50	15,30	827,0	103,0	6,51	59,50	90,50	19,60	2,15	2,19
18П	180	70	5,1	8,7	9,0	5,0	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,26	70,00	100,00	20,60	2,20	2,14
18аП	180	74	5,1	9,3	9,0	5,0	22,20	17,40	1200,0	133,0	7,34	76,30	123,00	24,30	2,35	2,36
20П	200	76	5,2	9,0	9,5	5,5	23,40	18,40	1530,0	153,0	8,08	88,00	134,00	25,20	2,39	2,30
22П	220	82	5,4	9,5	10,0	6,0	26,70	21,00	2120,0	193,0	8,90	111,00	178,00	31,00	2,58	2,47
24П	240	90	5,6	10,0	10,5	6,0	30,60	24,00	2910,0	243,0	9,75	139,00	248,00	39,50	2,85	2,72
27П	270	95	6,0	10,5	11,0	6,5	35,20	27,70	4180,0	310,0	10,90	178,00	314,00	46,70	2,99	2,78
30П	300	100	6,5	11,0	12,0	7,0	40,50	31,80	5830,0	389,0	12,00	224,00	393,00	54,80	3,12	2,83
33П	330	105	7,0	11,7	13,0	7,5	46,50	36,50	8010,0	486,0	13,10	281,00	491,00	64,60	3,25	2,90
36П	360	110	7,5	12,6	14,0	8,5	53,40	41,90	10850,0	603,0	14,30	350,00	611,00	76,30	3,38	2,99
40П	400	115	8,0	13,5	15,0	9,0	61,50	48,30	15260,0	763,0	15,80	445,00	760,00	89,90	3,51	3,05

## Раздел 6 Контрольные задания

### 6.1 Контрольные задания

#### Общие требования к оформлению контрольных работ.

Контрольная работа выполняется строго в соответствии со своим вариантом, который выдается преподавателем каждому студенту. Номер варианта соответствует номеру расчетной схемы.

1. Каждую контрольную работу желательно выполнять в отдельной тетради, ручкой с синей или черной пастой, четким почерком. Необходимо оставлять поля 40 мм с левой стороны листа для замечаний. На обложке тетради должны быть четко написаны: фамилия, имя, отчество студента, наименование дисциплины, наименование учебного заведения и специальности.

2. Рисунки (расчетные схемы, эпюры внутренних усилий, диаграммы перемещений, вспомогательные эскизы и т. д.) вычерчиваются с помощью линейки с соблюдением правил ЕСКД простым карандашом.

3. Перед решением задачи записывается номер задачи, искомые данные, заданная или принятая расчетная схема с буквенно-числовым обозначением всех размеров, внешних нагрузок с обязательным указанием их размерностей в системе СИ.

4. Решение задачи должно сопровождаться кратким пояснением. Во всех случаях удерживайте в числе не более двух значащих цифр.

**Работы, выполненные с нарушением данных указаний, не принимаются и не засчитываются.**

#### Задача 1.

Для заданного ступенчатого стержня (расчетные схемы табл. 2.) построить: эпюры продольных сил  $N$  и нормальных напряжений  $\sigma$ , определить перемещение точки  $C$ , проверить прочность стержня (данные для расчета табл. 1.).

Модуль упругости первого рода  $E=2 \cdot 10^5$  МПа.

**Данные расчета к задаче 1.**

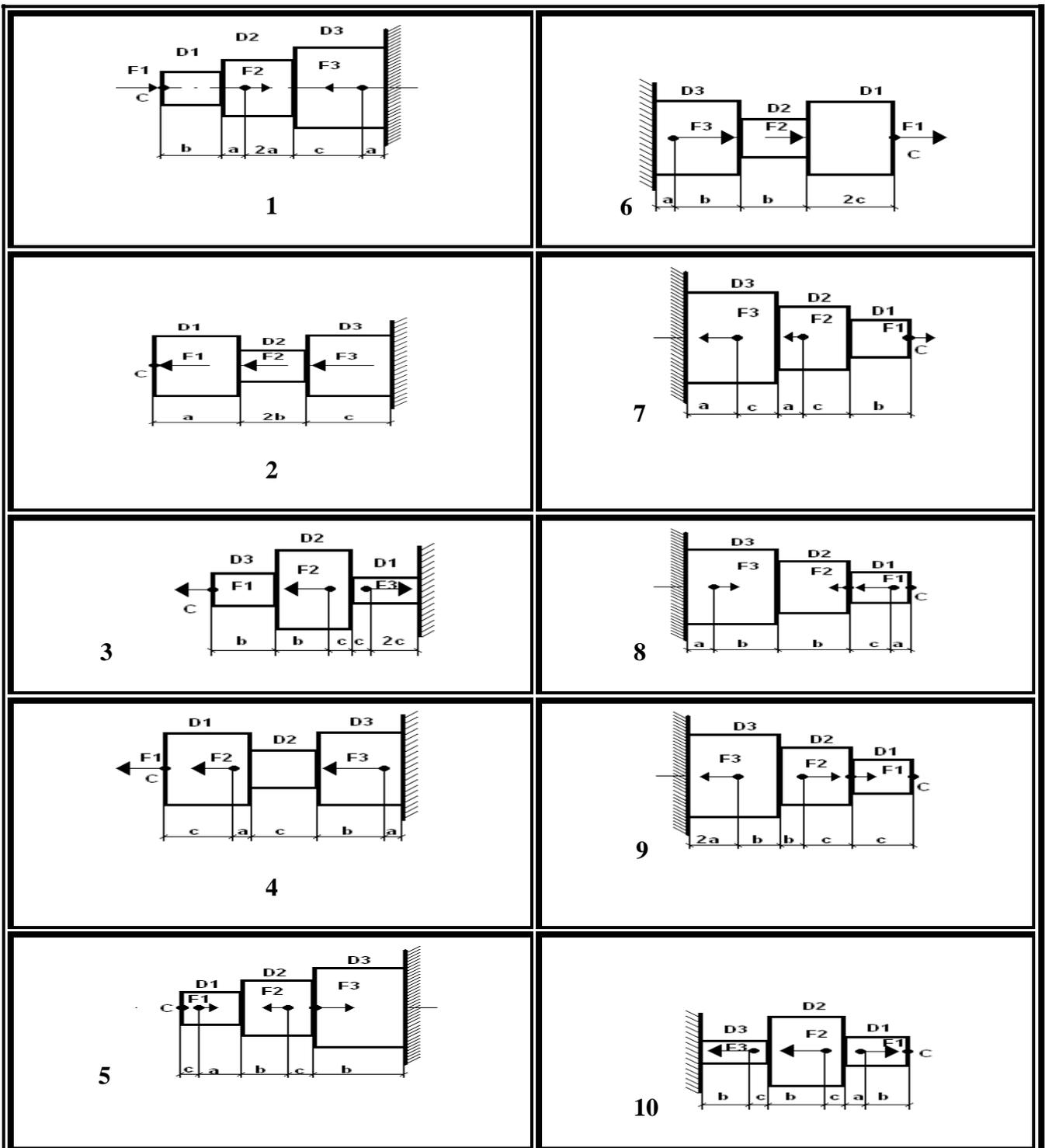
Таблица 1.

№ вар	а	в	с	F1	F2	F3	D1	D2	D3	[ $\sigma$ ]
	м	м	м	кН	кН	кН	мм	мм	мм	МПа
1	0,1	0,3	0,2	10	8	30	15	30	60	160
2	0,1	0,3	0,2	5	3	10	50	20	50	150
3	0,2	0,1	0,6	20	40	10	40	30	50	140
4	0,2	0,5	0,1	5	2	6	10	20	30	130
5	0,1	0,3	0,1	10	20	30	10	40	25	120
6	0,2	0,6	0,4	20	16	60	15	30	60	110
7	0,2	0,6	0,4	10	6	20	10	40	100	100

							0			
8	0,4	0,2	1,2	60	80	20	80	90	100	160
9	0,4	1	0,2	10	4	12	20	40	80	150
10	0,2	0,6	0,3	20	40	60	20	80	50	140

Расчетные схемы к задаче 1.

Таблица 2.



## Задача 2.

Для заданного сварного соединения (Таблица 4.) вычислить главные центральные моменты инерции сечения (Данные для расчета Таблица 3.)

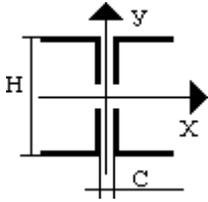
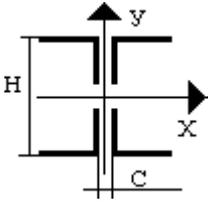
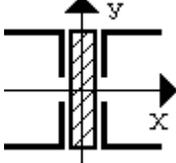
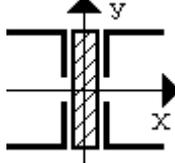
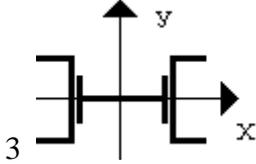
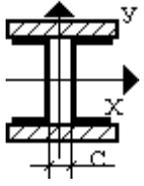
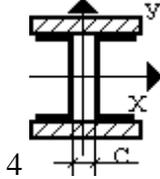
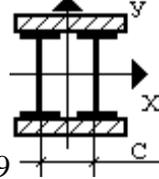
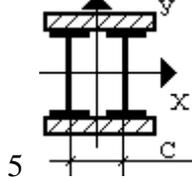
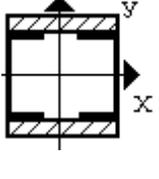
### Данные расчета к задаче 2.

Таблица 3.

№ Вар	H (мм)	C (мм)	№Уголка	Лист	№Швеллера	№Двутавра
1	400	10	12,5 (125×125×10)	-	-	-
2	300	8	10 (100×100×10)	-	-	-
3	250	12	12,5 (125×125×10)	-	-	-
4	-	-	16 (160×160×10)	200×10	-	-
5	-	-	-	-	36	14
6	-	100	-	280×10	22	-
7	-	100	-	250×8	16	-
8	-	-	-	240×12	36	-
9	-	-	-	280×10	22	-
10	-	120	-	240×8	-	14

Расчетная схема к задаче 2.

Таблица 4.

 <p>1</p>	 <p>6</p>
 <p>2</p>	 <p>7</p>
 <p>3</p>	 <p>8</p>
 <p>4</p>	 <p>9</p>
 <p>5</p>	 <p>10</p>

### Задача 3.

Вычислить главные центральные моменты инерции для сложного сечения (Расчетная схема таблица 6. данные для расчета таблица 5.)

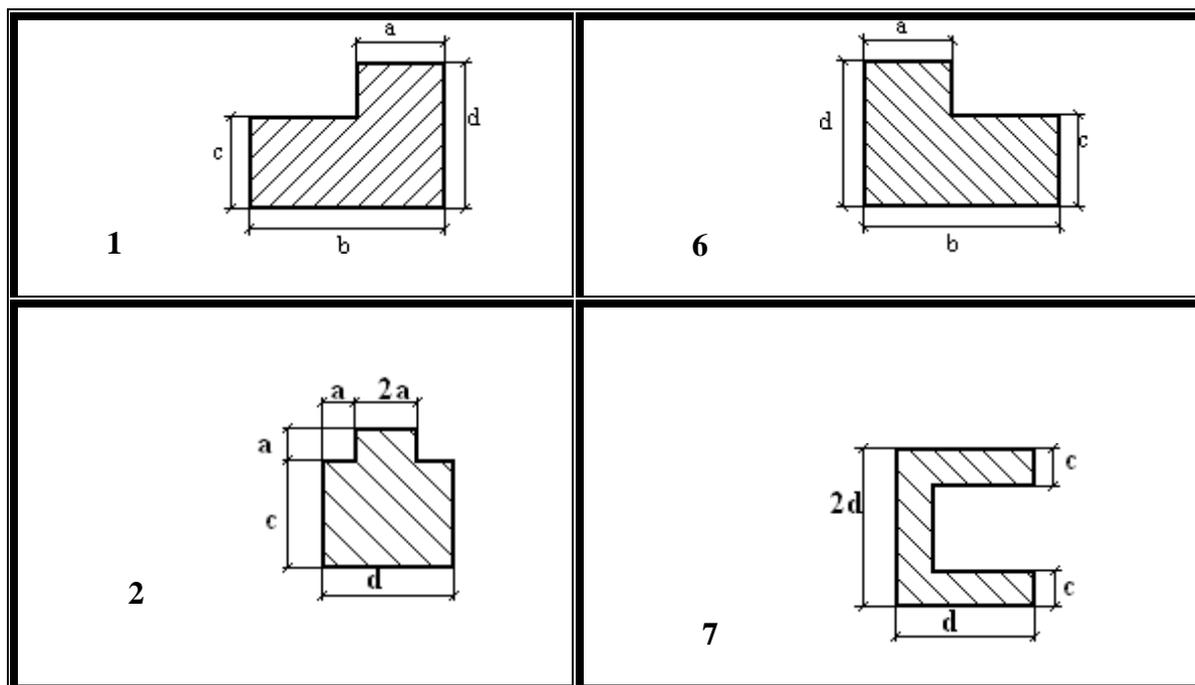
#### Расчетные данные к задаче 3.

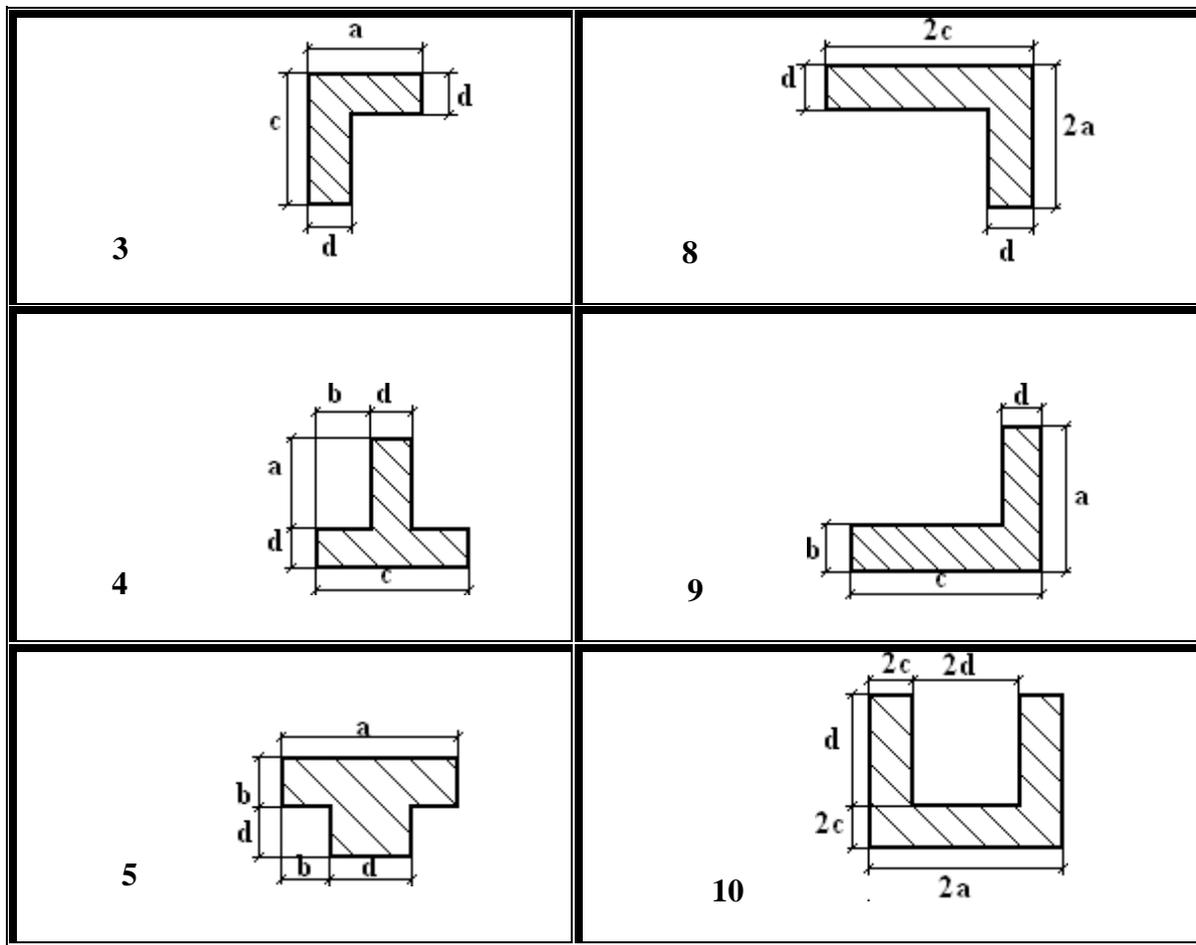
Таблица 5.

Вариант	a, мм	b, мм	c, мм	d, мм
1	10	100	30	70
2	20	90	40	80
3	30	80	50	90
4	40	70	60	100
5	50	60	70	10
6	60	50	80	20
7	70	40	90	30
8	80	30	100	40
9	90	20	10	50
10	100	10	20	60

#### Расчетная схема к задаче 3.

Таблица 6.





#### Задача 4.

Для заданной балки построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (расчетная схема табл. 8.). Проверить прочность балки, если  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ . Для вариантов 1 – 5 в поперечном сечении круг  $d = 50 \text{ мм}$ . Для вариантов 6 – 10 в поперечном сечении кольцо:  $D = 100 \text{ мм}$  – большой диаметр,  $d = 70 \text{ мм}$  – меньший диаметр (расчетные данные таблица 7.).



#### Расчетные данные к задаче 4и 5

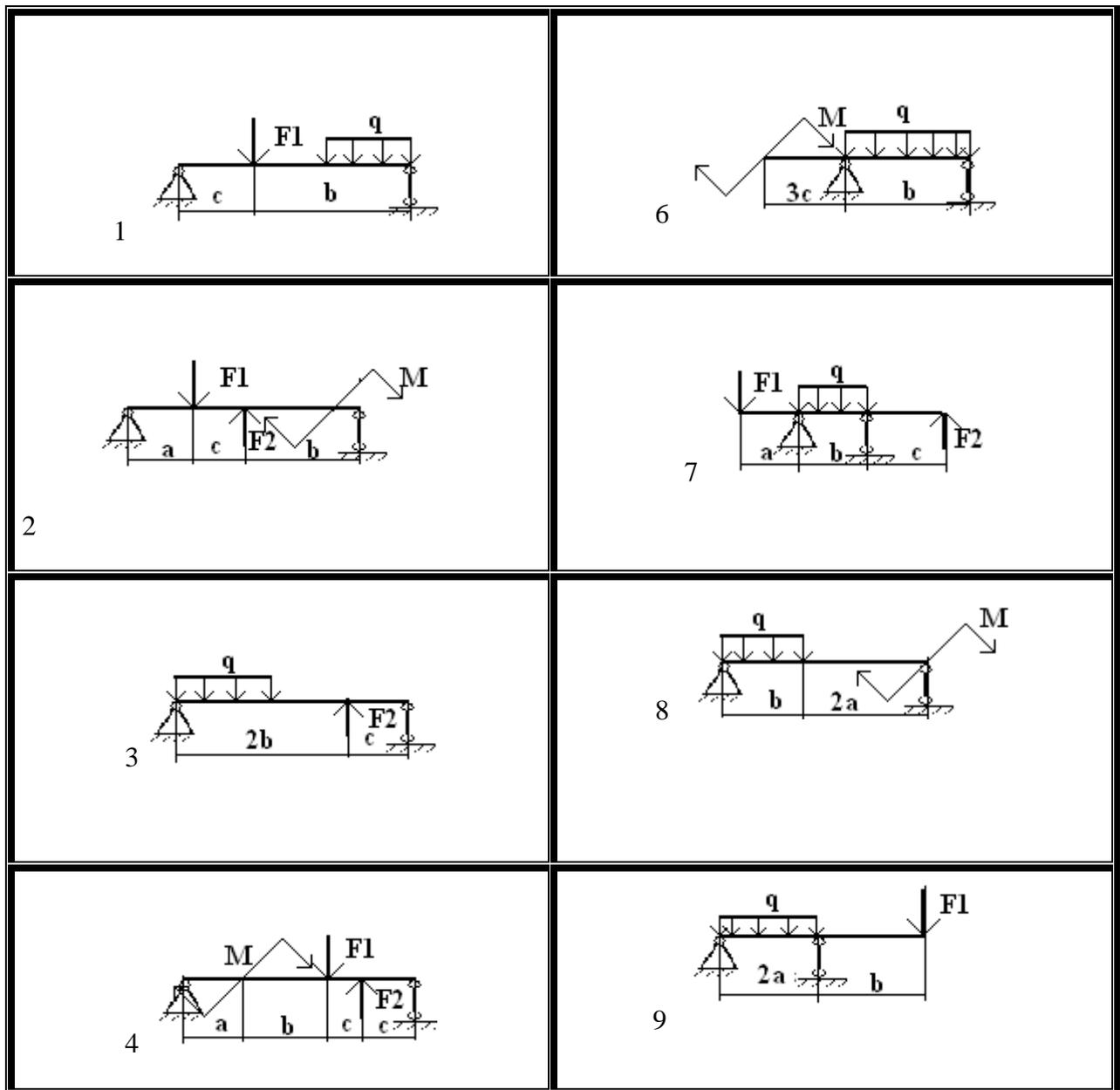
Таблица 7.

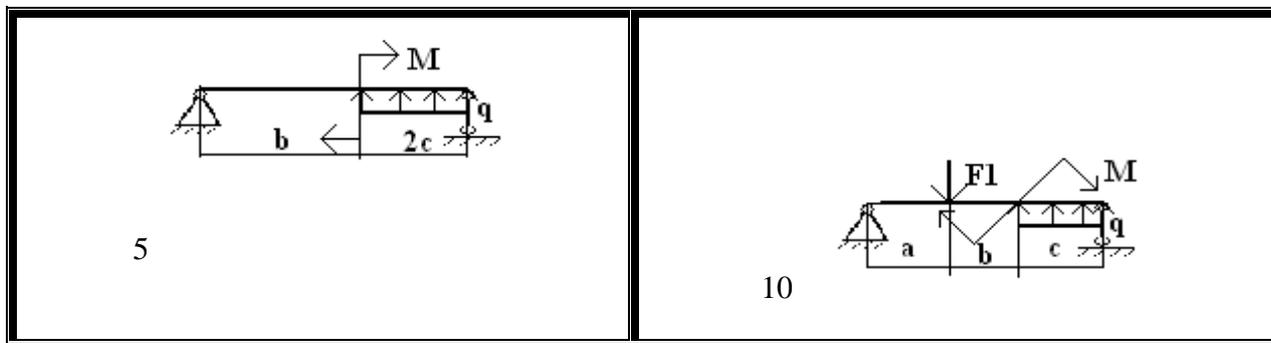
Вариант	$F_1, \text{кН}$	$F_2, \text{кН}$	$M, \text{кНм}$	$q, \text{кН/м}$	$a, \text{м}$	$b, \text{м}$	$c, \text{м}$
1	2	12	3	1	1	10	2
2	3	2	4	1	2	9	2
3	4	14	5	1	3	8	2
4	5	16	10	2	4	7	2

5	6	20	2	2	5	6	2
6	7	3	3	2	1	5	2
7	8	5	4	4	2	4	2
8	9	7	7	4	3	3	2
9	10	14	8	4	1	2	2
10	1	4	10	5	2	1	2

**Расчетная схема к задаче 4.**

Таблица 8.



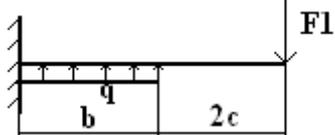
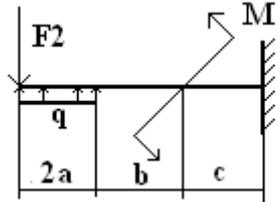
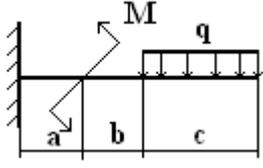
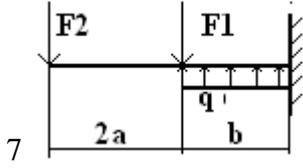
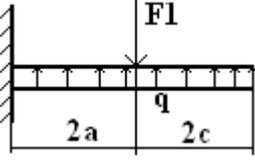
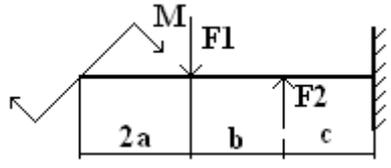
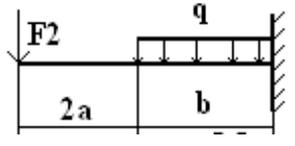


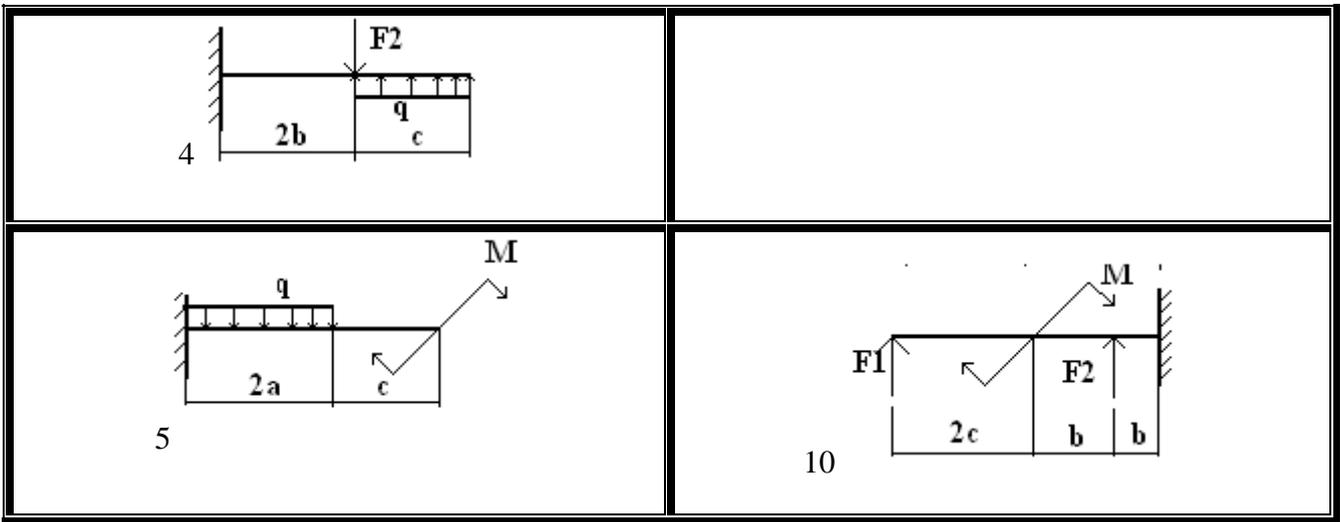
**Задача 5.**

Построить эпюры  $Q$  и  $Mz$ . При заданных нагрузках определить размер поперечного сечения балки (расчетные данные взять в табл. 7., расчетные схемы табл. 9.)

**Расчетные схемы для задачи 5.**

Таблица 9

 <p>1</p>	 <p>6</p>
 <p>2</p>	 <p>7</p>
 <p>3</p>	 <p>8</p>
	 <p>9</p>



**Задача 6.**

Определить размер поперечного сечения стержня, изготовленного из уголка, из расчета на устойчивость (расчетные данные табл. 10. расчетные схемы табл. 11.).

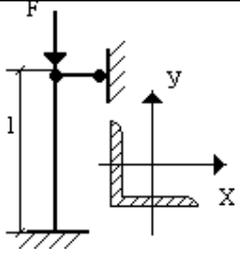
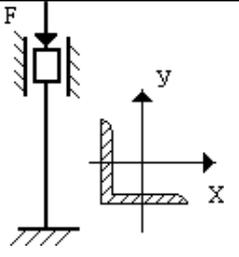
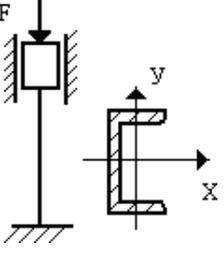
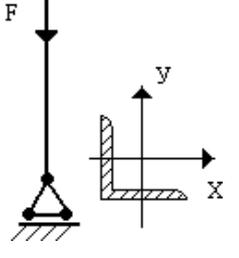
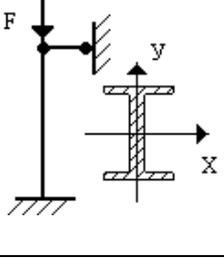
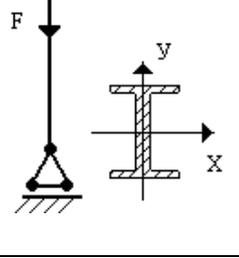
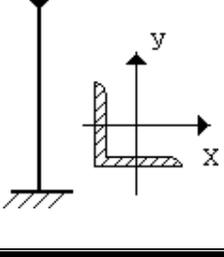
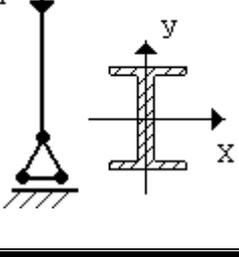
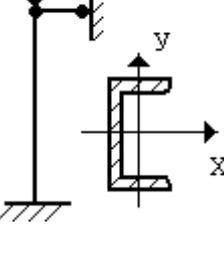
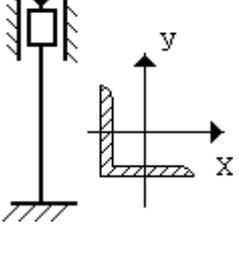
**Расчетные данные к задаче 6.**

Таблица 10.

№ Варианта	F кН	L м	[ $\sigma$ ] МПа
1	400	1	160
2	300	2	170
3	100	2	180
4	300	1,5	190
5	500	1,3	200
6	300	1,3	150
7	400	0,4	160
8	300	0,3	170
9	400	1	180
10	100	2	160

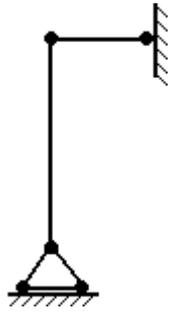
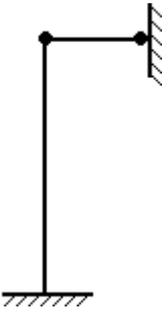
Расчетные схемы к задаче 6.

Таблица 11.

<p>1</p> 	<p>6</p> 
<p>2</p> 	<p>7</p> 
<p>3</p> 	<p>8</p> 
<p>4</p> 	<p>9</p> 
<p>5</p> 	<p>10</p> 

$\mu$  – коэффициент, зависящий от способа закрепления стержня, принимается в соответствии с табл. 12.:

Таблица 12.

$\mu = 1$	$\mu = 0,7$	$\mu = 0,5$	$\mu = 2$
			

Далее находим табличное значение коэффициента  $\varphi$  по табл. 13.

Таблица 13.

$\lambda = \mu \cdot l/i_{\min}$	$\varphi$	$\lambda = \mu \cdot l/i_{\min}$	$\varphi$
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>110</b>	<b>0,52</b>
<b>10</b>	<b>0,99</b>	<b>120</b>	<b>0,45</b>
<b>20</b>	<b>0,96</b>	<b>130</b>	<b>0,40</b>
<b>30</b>	<b>0,95</b>	<b>140</b>	<b>0,36</b>
<b>40</b>	<b>0,92</b>	<b>150</b>	<b>0,32</b>
<b>50</b>	<b>0,89</b>	<b>160</b>	<b>0,29</b>
<b>60</b>	<b>0,86</b>	<b>170</b>	<b>0,26</b>
<b>70</b>	<b>0,81</b>	<b>180</b>	<b>0,23</b>
<b>80</b>	<b>0,75</b>	<b>190</b>	<b>0,21</b>
<b>90</b>	<b>0,69</b>	<b>200</b>	<b>0,19</b>
<b>100</b>	<b>0,60</b>		