

СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Рабочая тетрадь

для студентов-бакалавров очно-заочной и заочной
форм обучения строительных специальностей

Часть 2

Рязань 2018

УДК624.04
ББК 38.112
С64

Сопротивление материалов. Рабочая тетрадь, часть 2; учебное пособие/
сост. Паршков А.В., Иванова О.В., Фролова Г.В.
Совр. техн. универ-т. – Рязань, 2018. – 78 с. – 50 экз.

Рецензенты: доцент СТИ Лебедев Б.С., доцент РВВДКУ Филатова С.А.

Рабочая тетрадь предназначена для студентов-бакалавров очно – заочной и заочной форм обучения. Тетрадь содержит иллюстративную основу для лекционных и практических занятий по базовым разделам курса, включенным в учебную программу по дисциплине «Сопротивление материалов», контрольные вопросы для самостоятельной подготовки, примеры решения задач, а также задачи для самостоятельного решения в последовательности изучения соответствующих тем. Для лучшего усвоения учебного материала и овладения методами и приемами расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость, решение отдельных задач предполагается выполнять непосредственно на готовой печатной основе, что значительно сокращает время их выполнения и облегчает усвоение изучаемого материала. В рабочей тетради приведены варианты заданий для индивидуальной работы и некоторый справочный материал по отдельным учебным вопросам.

*Печатается по решению Ученого Совета
Современного технического университета.*

УДК624.04
ББК 38.112
С64

© А.В. Паршков, Иванова О.В., Фролова Г.В.
© Современный технический университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Рекомендуемая литература.....	4
Лекция 9. Геометрические характеристики плоских сечений.....	5
Контрольные вопросы для самоподготовки.....	11
Задачи.....	12
Лекция 10. Изгиб.....	15
Контрольные вопросы для самоподготовки.....	23
Лекция 11. Напряжения при изгибе и расчет брусьев на прочность.....	24
Контрольные вопросы для самоподготовки.....	31
Лекция 12. Рамы.....	32
Контрольные вопросы для самоподготовки.....	39
Лекция 13. Основы расчета статически неопределимых систем.....	40
Контрольные вопросы для самоподготовки.....	51
Лекция 14. Сложное сопротивление.....	52
Контрольные вопросы для самоподготовки.....	62
Лекция 15. Устойчивость сжатых стержней	63
Контрольные вопросы для самоподготовки.....	69
Лекция 16. Практический метод расчета на устойчивость сжатых стержней.....	70
Контрольные вопросы для самоподготовки.....	74
Приложение.....	75
Задача №3.....	76
Задача №4.....	78

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ:

1. Г.В. Фролова, О.В. Иванова Основы сопротивления материалов. Конспект курса лекций. Рязань, 2012.- 180с.
2. А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин Сопротивление материалов М.: Высшая школа, 2000.- 560с.
3. В.И. Феодосьев Сопротивление материалов. - М.: Наука, 1986. 512с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

1. А.М. Михайлов Сопротивление материалов. - М.: Издательский центр «Академия», 2009. -448с.
2. И.В.Богомаз, Т.П. Мартынова, В.В. Москвичев Сопротивление материалов. Часть 1 – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. -176с.
2. И.В. Богомаз, Т.П. Мартынова, В.В. Москвичев Сопротивление материалов. Часть 2 – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. -191с.
3. И.Н.Миролюбов и др. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов. - М.: Высшая школа, 1985.- 399с.

Лекция 9

Геометрические характеристики плоских сечений

9.1 Понятие геометрических плоских сечений

Основным объектом, изучаемым в СМ, является стержень (брус). Сопротивление стержня различным видам деформации часто зависит не только от его материала и размеров, но и от очертаний оси, формы поперечных сечений и их расположения.

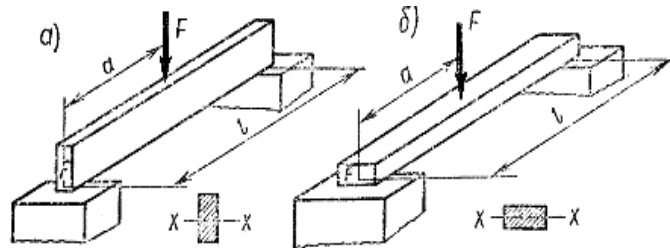


Рисунок 9.1

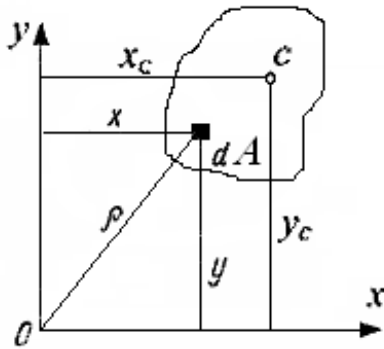


Рисунок 9.2

Площадь сечения

Статические моменты площади сечения

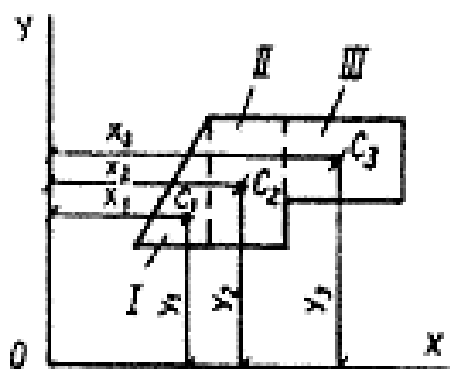


Рисунок 9.3

Моменты инерции плоских фигур

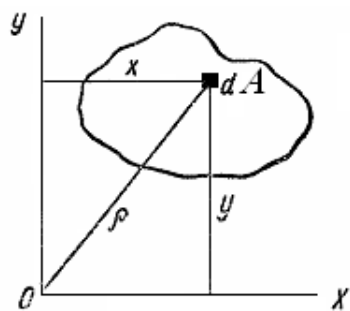
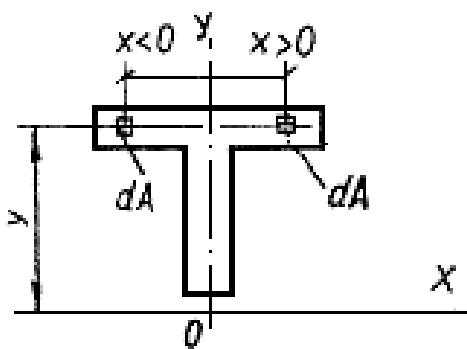


Рисунок 9.4

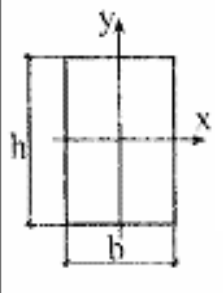
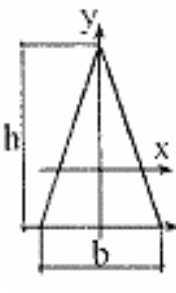
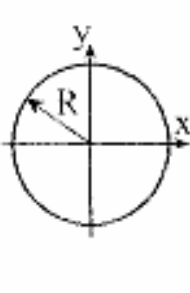
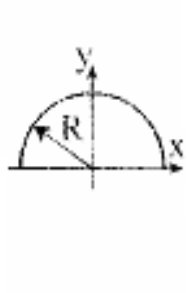
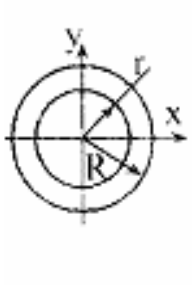
Рассмотрим сечение в виде тавра, симметричного относительно оси y .



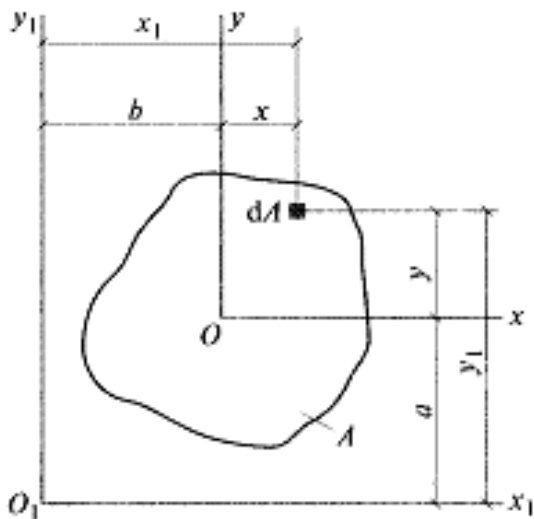
Для каждого сечения каждой площадке dA в первой четверти соответствует площадка dA во второй четверти с координатами, равными по оси y ($y = \text{const}$) и равными, но противоположными по знаку по оси x (x и $-x$). Следовательно, центробежный момент инерции относительно этих осей будет равен нулю.

Рисунок 9.5

Осевые моменты некоторых простых сечений приведены в табл. 9.1

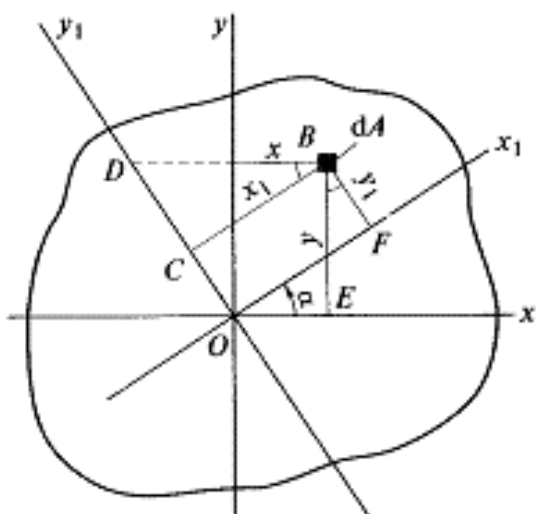
Фигуры					
Момент инерции					
J_x	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{\pi R^4}{4} = \frac{\pi D^4}{64}$	$\frac{\pi R^4}{8} = \frac{\pi D^4}{128}$	$\frac{\pi R^4}{4} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^4 \right)$
J_y	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{hb^3}{48}$	$\frac{\pi R^4}{4} = \frac{\pi D^4}{64}$	$\frac{\pi R^4}{8} = \frac{\pi D^4}{128}$	$\frac{\pi R^4}{4} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^4 \right)$

9.2 Моменты инерции относительно параллельных осей

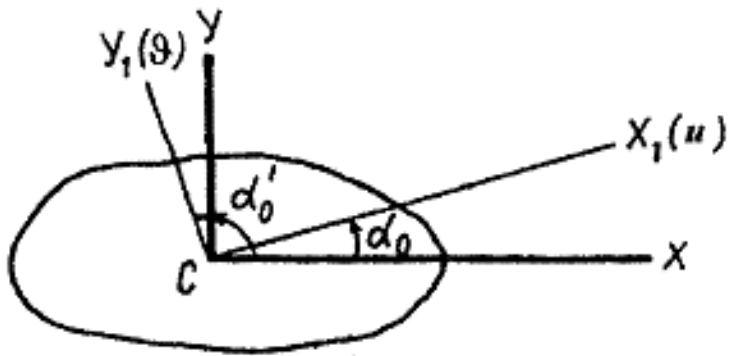


9.3 Зависимости между моментами инерции при повороте осей

При повороте координатных осей моменты инерции площади сечения изменяются. Их значения относительно новых осей, наклоненных под углом α к исходным (рис.9.7), можно найти, если новые координаты площадки dA связать со старыми и подставить в интегральные выражения (9.6), (9.7) и (9.9).



9.4 Положение главных осей инерции и главные моменты инерции



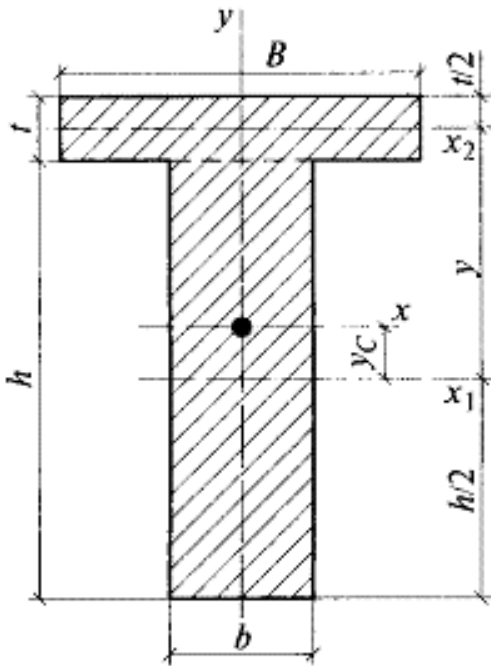
Контрольные вопросы для самоподготовки

1. Что такое геометрические характеристики плоских сечений?
2. Статические моменты. Центр тяжести плоской фигуры.
3. Моменты инерции плоских сечений.
4. Какова зависимость между моментами инерции при параллельном переносе осей?
5. Главные оси и главные моменты инерции
6. Моменты инерции простых и сложных сечений

Задачи

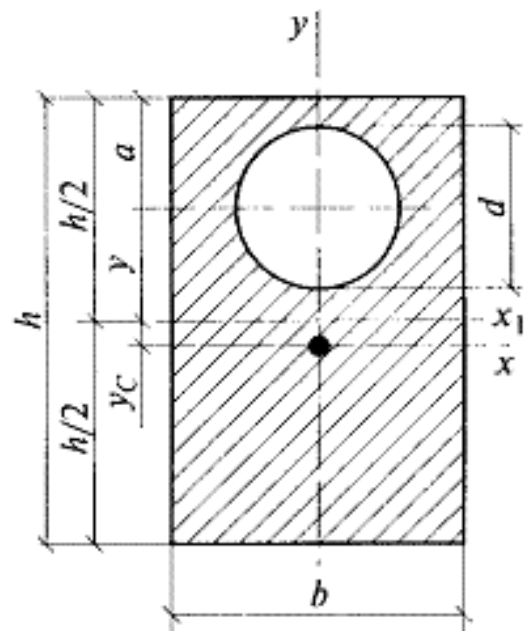
Задача №1.

Определить положение центра тяжести таврового сечения, имеющего размеры: $h = 60\text{см}$, $b = 20\text{см}$, $B = 50\text{см}$, $t = 8\text{см}$.

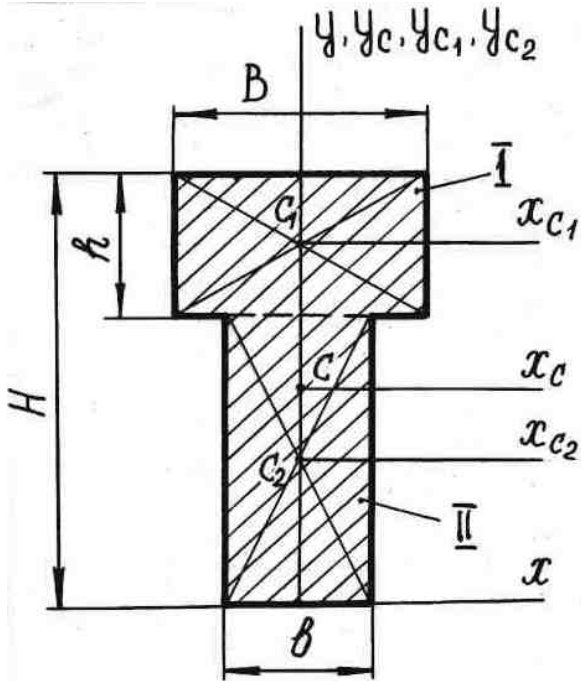


Задача №2.

Определить положение центра тяжести прямоугольного сечения шириной $b=30\text{см}$ и высотой $h = 50\text{см}$, ослабленного круговым отверстием диаметром $d = 18\text{см}$. Центр круга отстоит на расстоянии $a = 15\text{см}$ от верхнего основания сечения.



Задача №3.

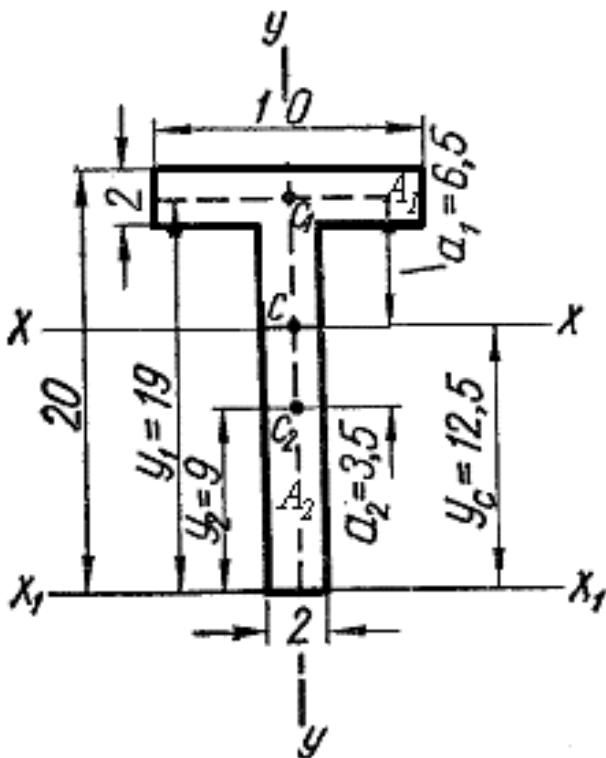


Для таврового сечения, показанного на рисунке, по заданным размерам $H=20\text{см}$, $h=4\text{см}$, $D=10\text{см}$, $b=4\text{см}$, определить:

- 1) центр тяжести сечения;
- 2) статические моменты относительно осей x и y ;
- 3) осевые моменты инерции J_{xc} и J_{yc} относительно центральных осей.

Задача №4.

Определить центральные моменты инерции J_x и J_y таврового сечения, изображенного на рисунке.



Лекция 10

Изгиб

10.1 Основные понятия и определения

Изгиб –



Изгиб вызывают силы, перпендикулярные продольной оси z , или пары сил, лежащие в плоскостях, проходящих через ось z (рис. 10.1,а,б).

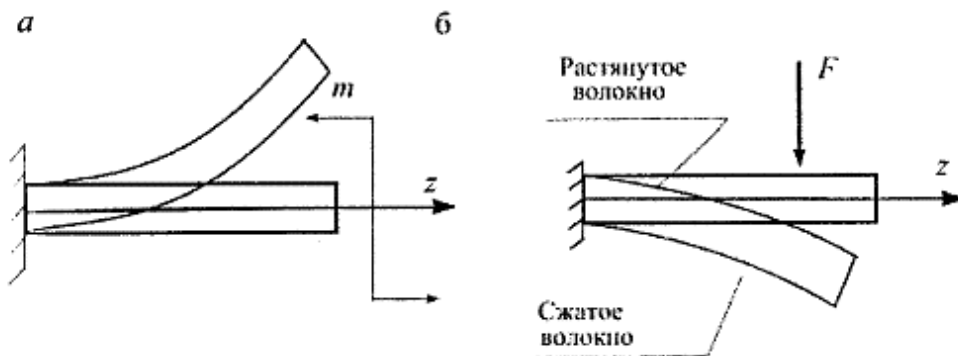


Рисунок 10.1

Виды изгиба:

1. Чистый и поперечный изгиб.

2. Плоский и пространственный изгиб.

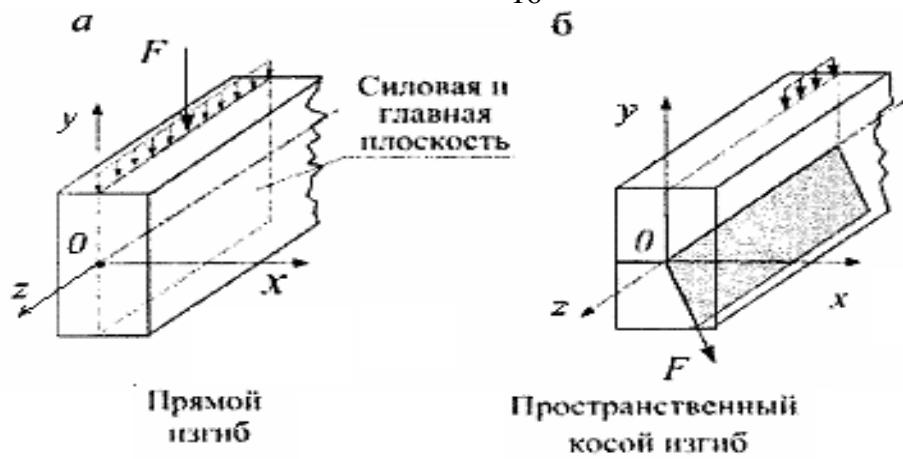


Рисунок 10.2

3. Прямой и кривой изгиб.

В зависимости от способа крепления различают *три основных типа балок* (рис. 10.3)



Рисунок 10.3

1. Двухопорная балка

2. Консоль

3. Консольная балка

10.2 Анализ внутренних усилий при изгибе

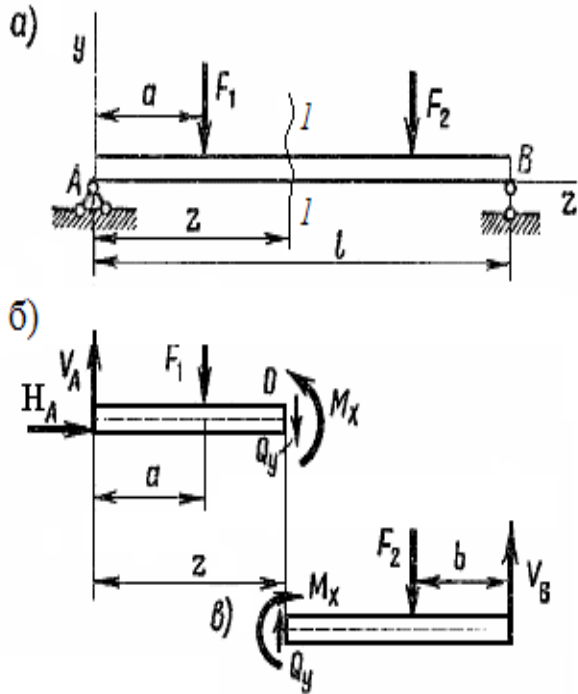


Рисунок 10.4

Правило знаков

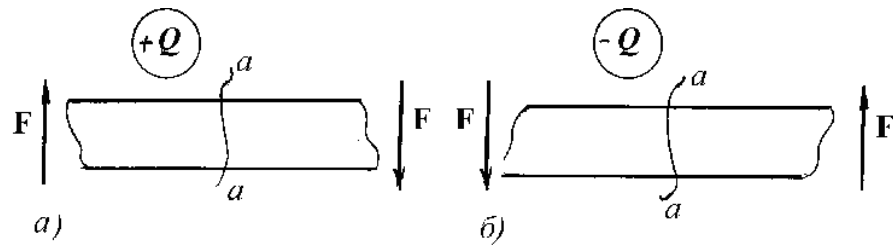


Рисунок 10.5

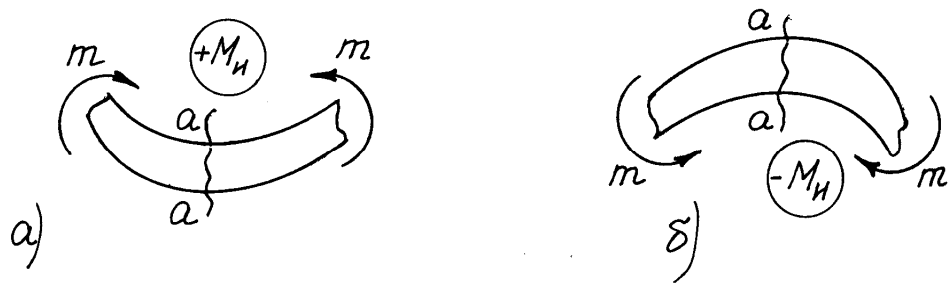


Рисунок 10.6

10.3 Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов

Задача №1. Построить эпюры поперечной силы $Q = Q_y$ и изгибающего момента $M_i = M_x$ для двухопорной балки, нагруженной силой F , по заданным F и ℓ (рис.10.7,а).

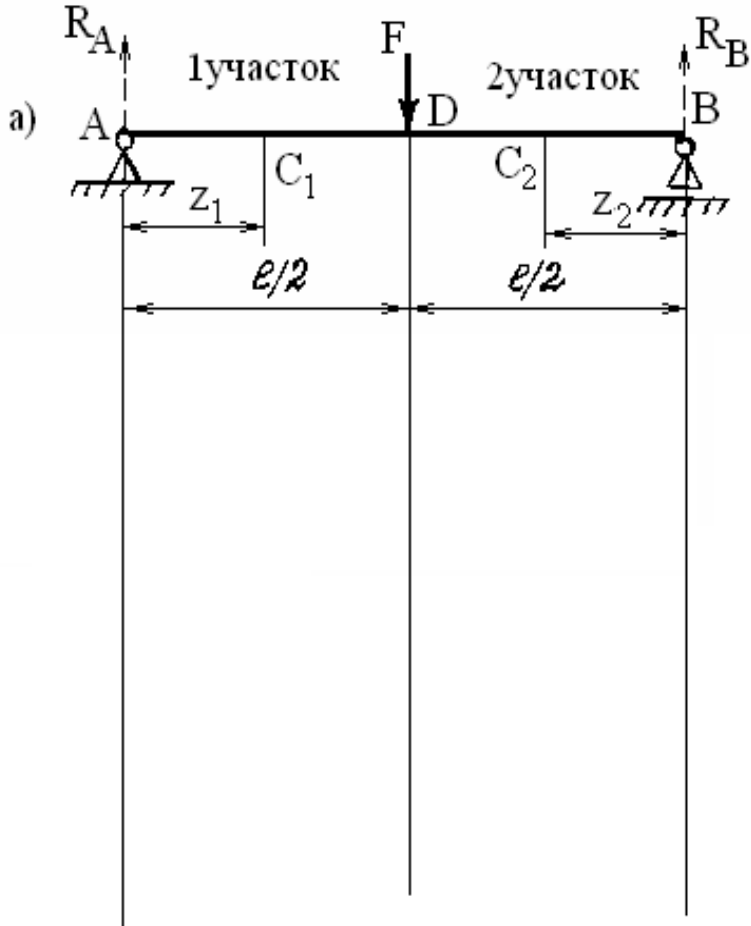


Рисунок 10.7

10.4 Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки (теорема Д.И. Журавского)

Эти зависимости были отмечены в середине 19 века ученым Д.И. Журавским. Они непосредственно вытекают из условия равновесия элемента балки, работающей на прямой изгиб.

10.5 Построение эюр Q и M по характерным точкам (сечениям)

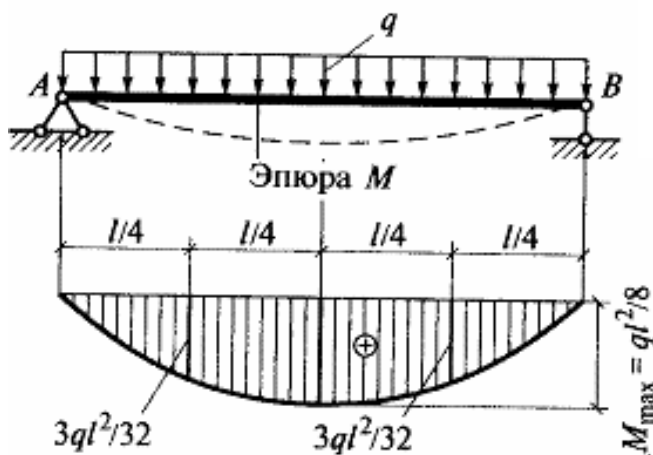


Рисунок 10.8

В сложных случаях, когда к балке приложены различные виды нагрузок (т.е. она имеет несколько участков по-разному нагруженных) построение эюр целесообразнее вести по характерным точкам. Эти точки соответствуют сечениям, совпадающим с границами участков, и сечениям, где изгибающий момент достигает экстремальных значений. При таком способе построения

следует руководствоваться следующими правилами:

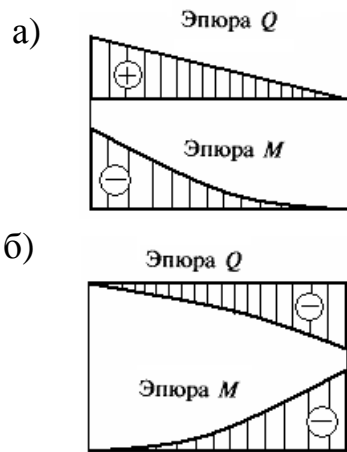


Рисунок 10.9

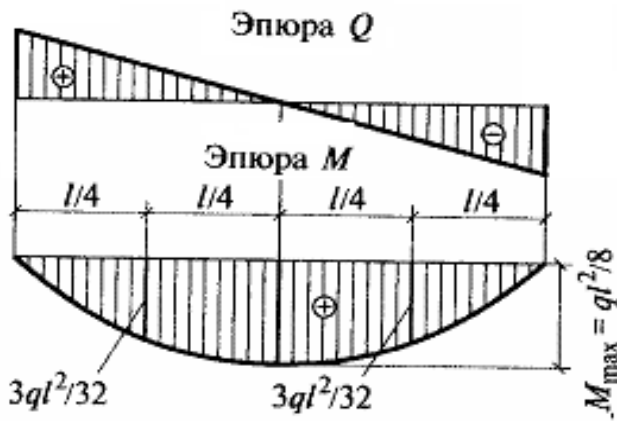


Рисунок 10.10

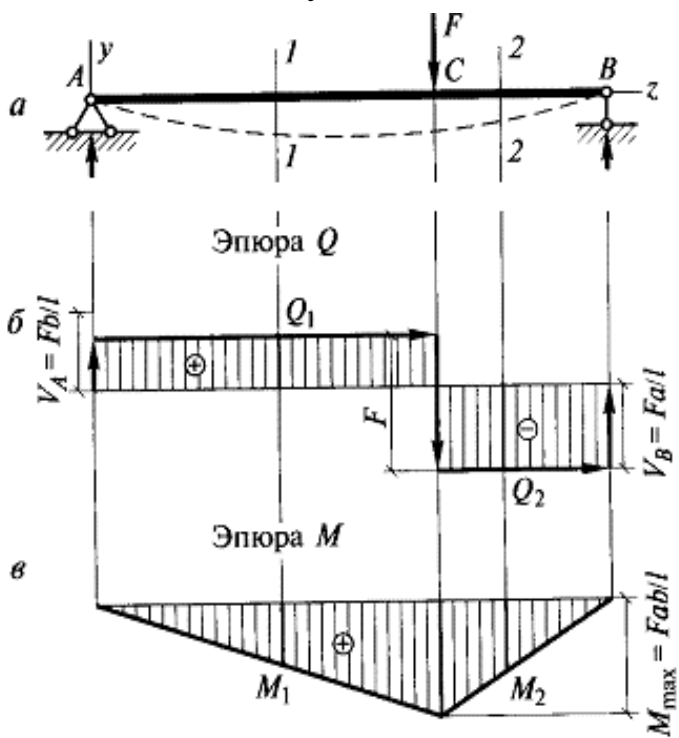


Рисунок 10.11

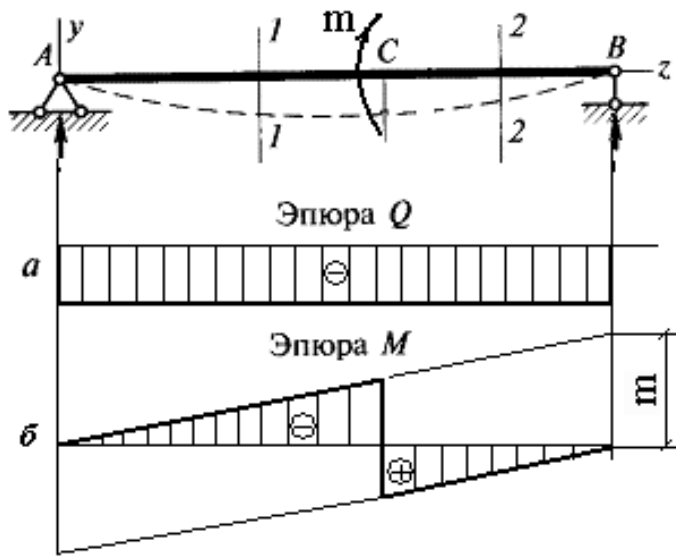


Рисунок 10.12

Контрольные вопросы для самоподготовки

1. Какой вид деформации называется изгибом?
2. Какие виды изгиба различают? В чем заключается их суть?
3. Анализ внутренних усилий при изгибе.
4. Каково правило знаков для поперечных сил и изгибающих моментов?
5. Пояснить построение эпюр поперечных сил (Q) и изгибающих моментов (M).
6. В чем заключаются дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки (теорема Д.И. Журавского)?
7. Пояснить построение поперечных сил (Q) и изгибающих моментов (M) по характерным точкам (сечениям)

Лекция 11

Напряжения при изгибе и расчет брусьев на прочность

Во всех точках поперечного сечения бруса при поперечном изгибе возникают **нормальные** и **касательные** напряжения.

11.1 Основные понятия и определения

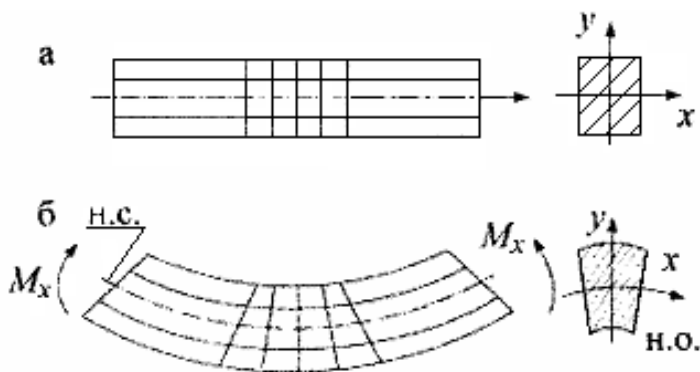


Рисунок 11.1

Данная картина деформирования позволяет принять следующие **основные допущения**:

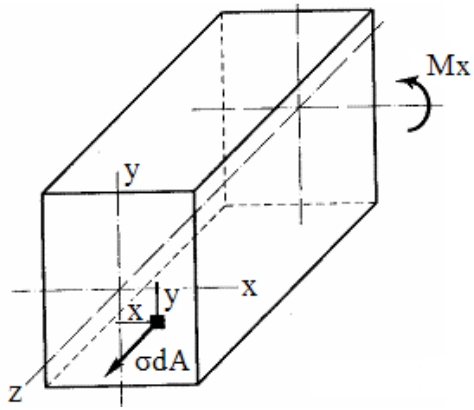


Рисунок 11.2

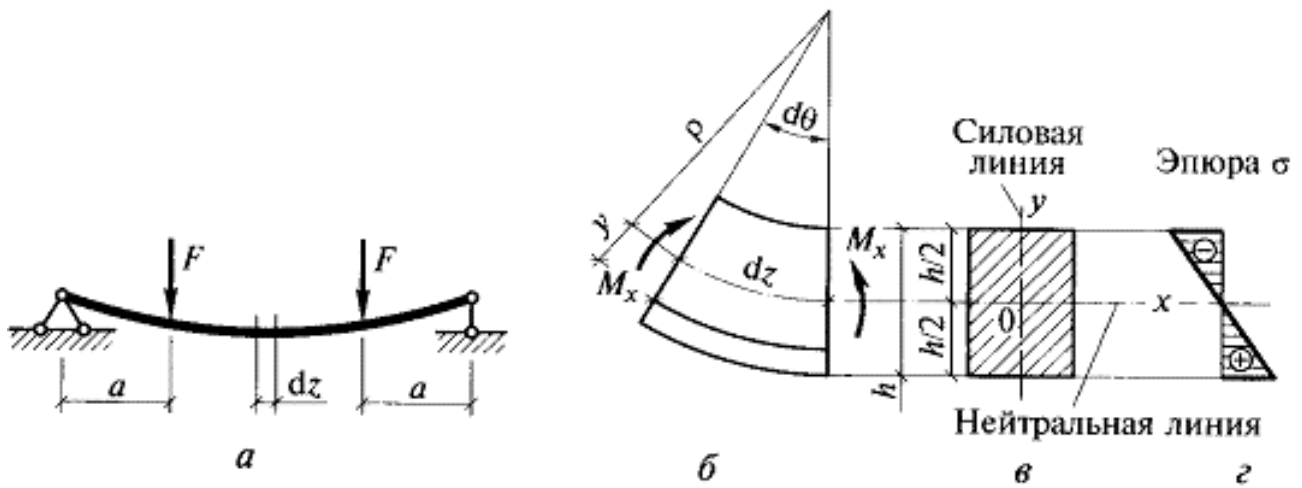


Рисунок 11.3

11.2 Расчет балок на прочность по нормальным напряжениям

Осевые моменты сопротивления простых фигур (рис.11.4):

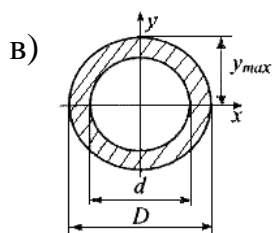
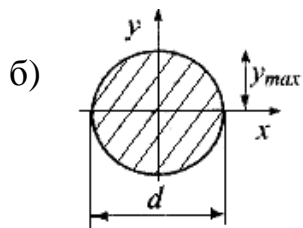
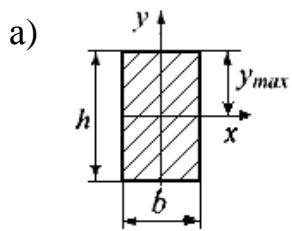


Рисунок 11.4

11.3 Касательные напряжения при изгибе. Формула Журавского

При определении касательных напряжений принимаются следующие допущения:

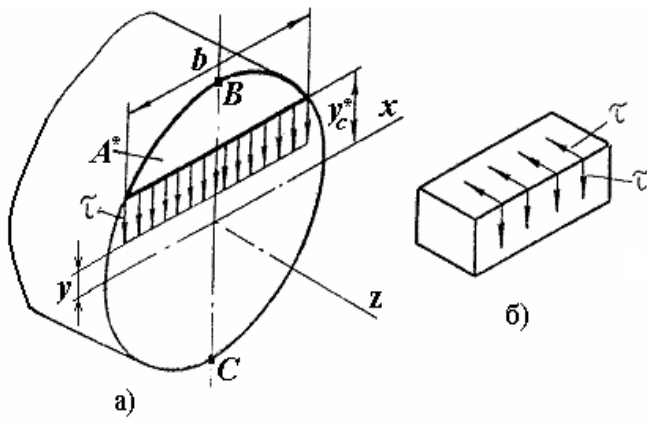


Рисунок 11.5

11.4 Распределение касательных напряжений в прямоугольном, круглом и двутавровом сечениях

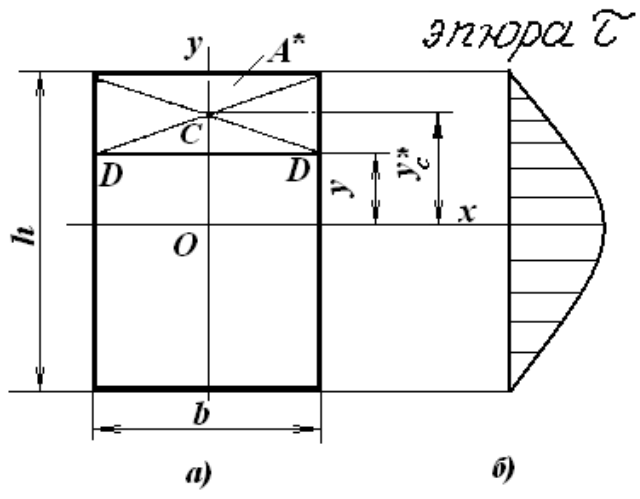


Рисунок 11.6

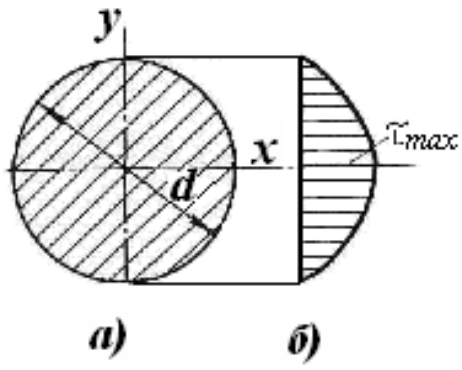


Рисунок 11.7

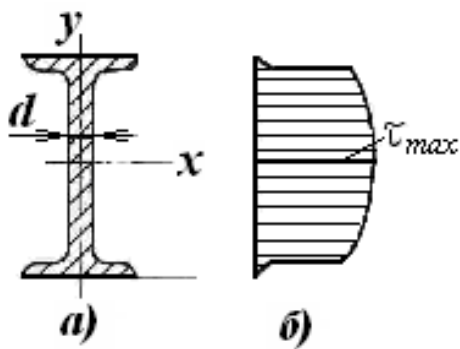


Рисунок 11.8

11.5 Условия прочности при поперечном изгибе

Контрольные вопросы для самоподготовки

1. Нормальные напряжения в поперечных сечениях балок, как их определить?
2. Расчет на прочность при изгибе по нормальным напряжениям.
3. Касательные напряжения при изгибе. Формула Журавского
4. Как распределяются касательные напряжения в прямоугольном, круглом и двутавровом сечениях
5. Условия прочности при поперечном изгибе

Лекция 12

Рамы

12.1 Основные понятия и определения



Рамой называют

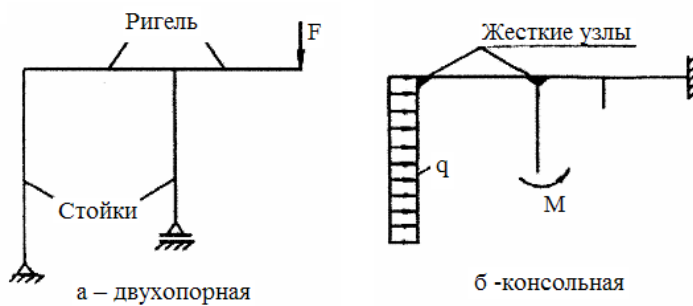


Рисунок 12.1

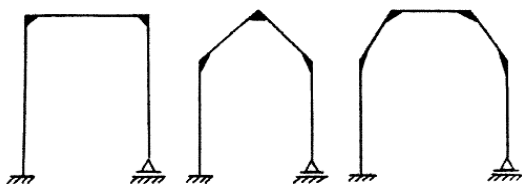


Рисунок 12.2

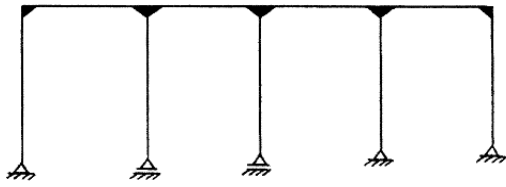


Рисунок 12.3

12.2 Статически определимые рамы

Рамы, опорные реакции которых находят с помощью уравнений статики, называются **статически определимыми** (рис.12.4 и 12.5). У таких рам число неизвестных опорных реакций должно быть меньше или равно числу уравнений статики.

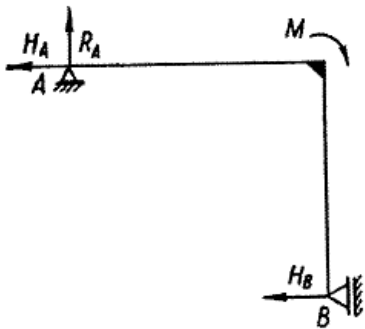


Рисунок 12.4

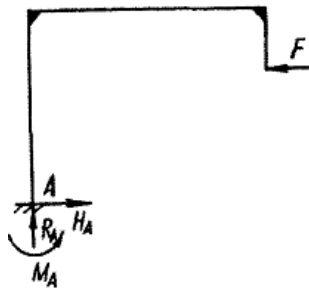


Рисунок 12.5

12.3 Последовательность определения внутренних усилий и построение эпюр в рамах

Правило знаков

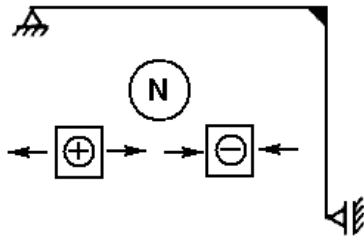


Рисунок.12.6

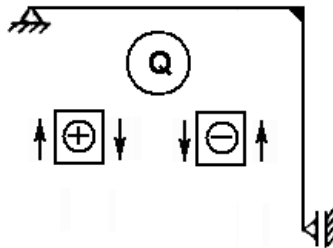


Рисунок.12.7

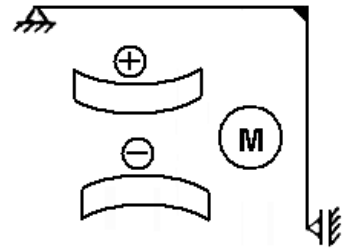


Рисунок.12.8

Задача №1. Для рамы, изображенной на рис. 12.9, построить эпюры N , Q , M . Определить вертикальное перемещение точки C (Δ_C), угол поворота сечения B (Θ_B).

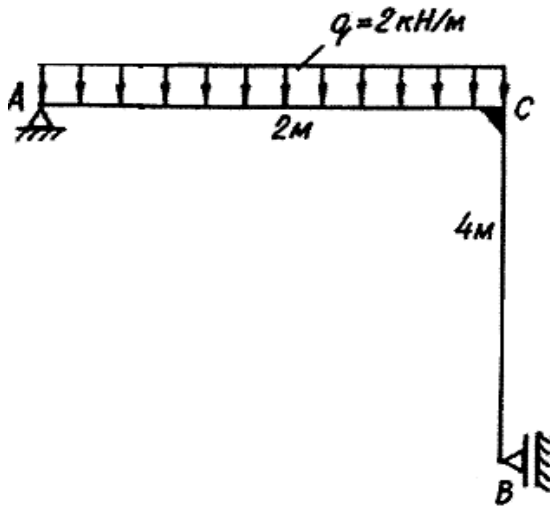


Рисунок.12.9

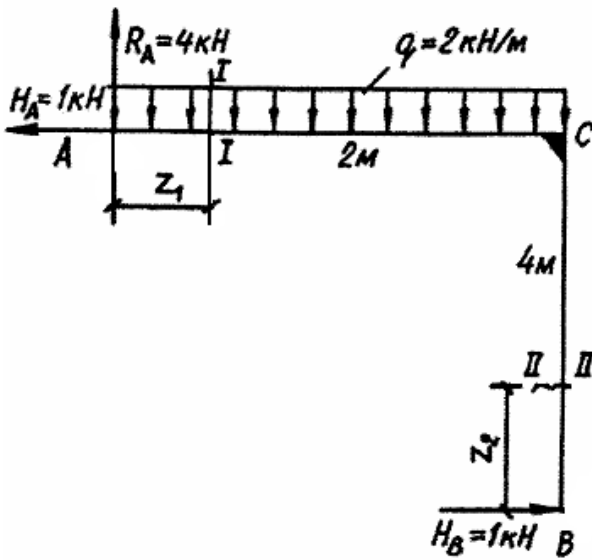


Рисунок.12.10



Рисунок.12.11



Рисунок.12.12



Рисунок.12.13

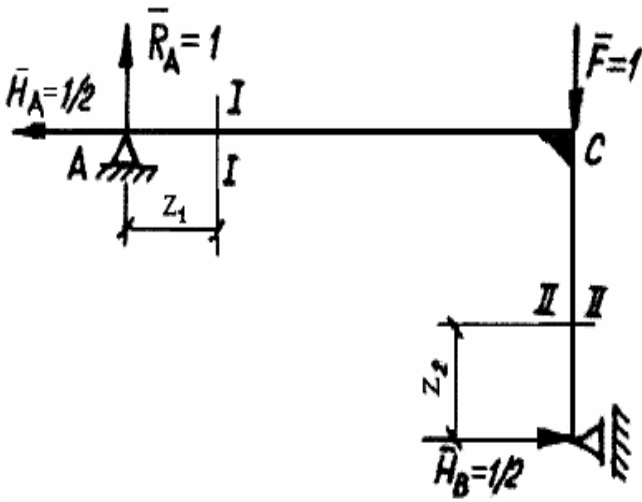


Рисунок.12.14



Рисунок.12.15

Рисунок.12.16

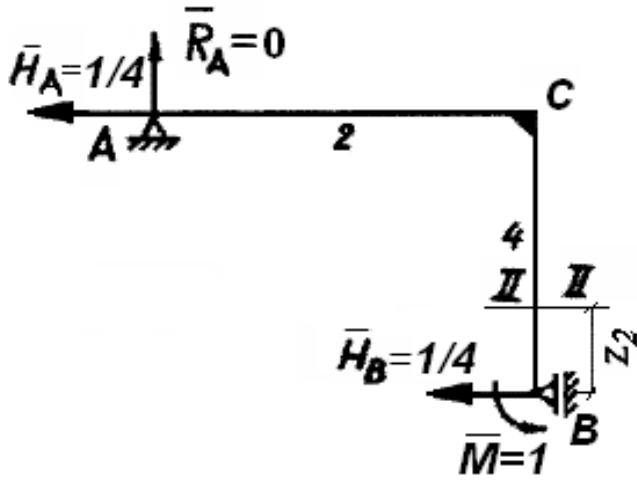


Рисунок.12.17

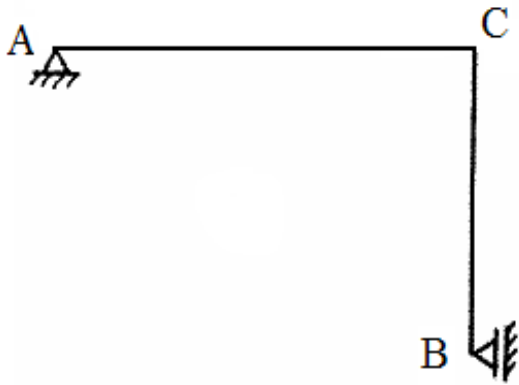


Рисунок.12.18

Контрольные вопросы для самоподготовки

1. Что называется рамой? Какие элементы рам известны? Как отличаются рамы по конструкции?
2. Дать характеристику статически определимых рам.
3. Последовательность определения внутренних усилий и построение эпюр в рамах.
4. Правило знаков.

Лекция 13

Основы расчета статически неопределимых систем

13.1 Статически неопределимые системы

Система называется *статически неопределимой*,

В практике такие конструкции нашли широкое применение. Это мосты, каркасы жилых зданий и промышленных сооружений, валы крупных турбогенераторов и др.

Схемы некоторых статически неопределимых конструкций изображены на рисунке 13.1: а - стержневая подвеска; б - стержень, жестко закрепленный обоими концами; в - железобетонная колонна, состоящая из бетона с включенной в него арматурой.

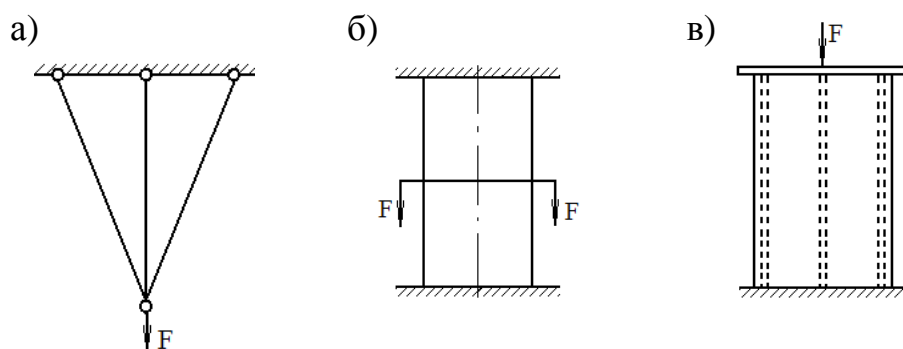


Рисунок 13.1

Определим степень статической неопределенности некоторых стержневых систем (рис.13.2), для которых число уравнений статики $n=3$.

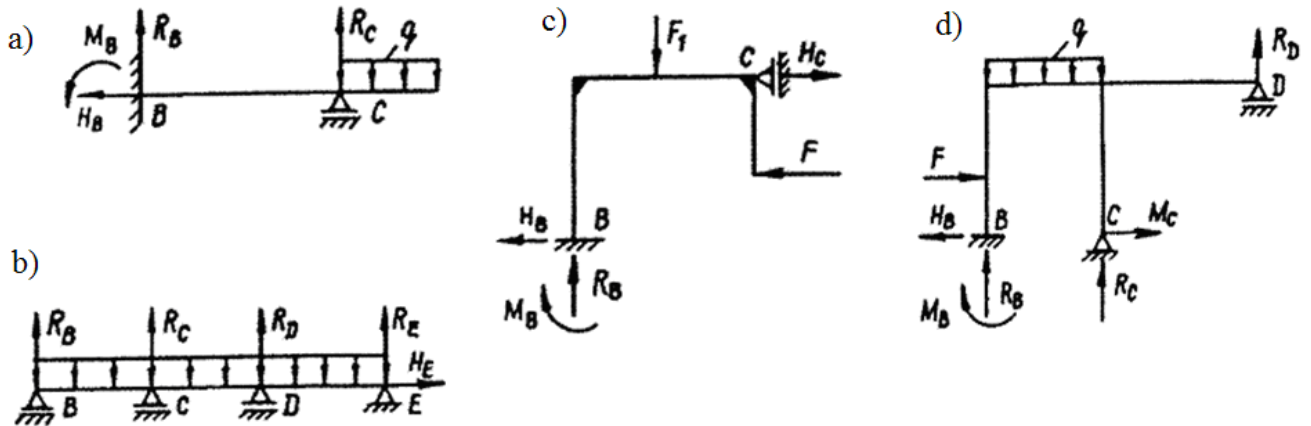


Рисунок 13.2

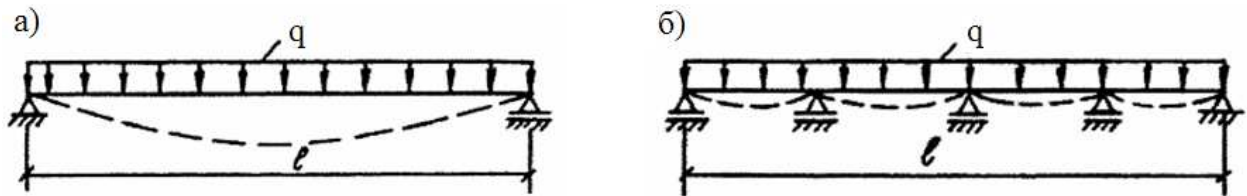


Рисунок 13.3

Для расчета СНС разработаны многочисленные методы. Один из наиболее применяемых – **метод сил**. При расчете по методу сил за лишние неизвестные принимают усилия в лишних связях.

13.2 Основная система и уравнения совместности деформаций метода сил

Определение усилий в СНС требует составления дополнительных уравнений – уравнений совместности деформаций. Для этого прежде всего необходимо заданную СНС превратить в СО, устранив «лишние связи», а их действие заменить неизвестными усилиями. При отбрасывании лишних связей нужно следить за тем, чтобы новая система, называемая основной, была геометрически неизменяемой.

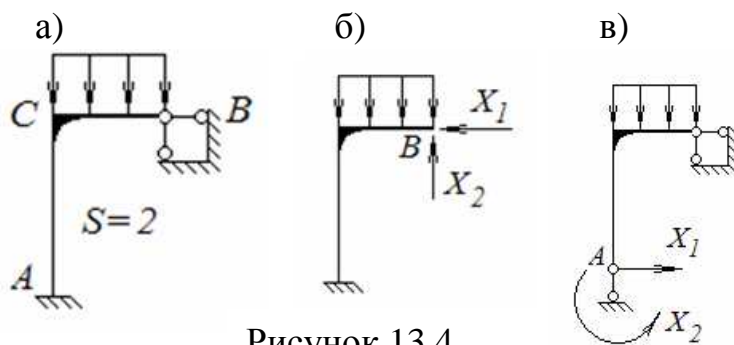


Рисунок 13.4

На рис. 13.4,а изображена дважды статически неопределимая рама. Два варианта основной системы показаны на рис.13.4,б,в.

На рис.13.5,а изображена один раз статически неопределимая система.

Два варианта основной системы показаны на рис.13.5,б,в. Наиболее простой из них выбирается для расчета.

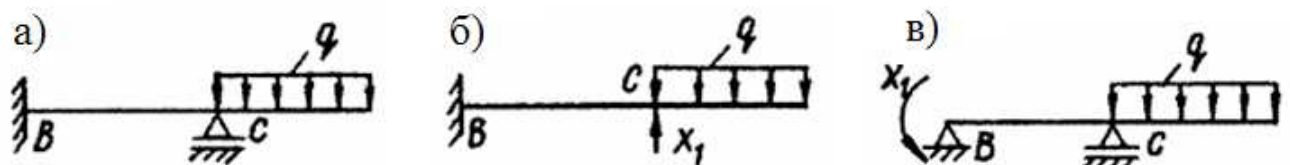
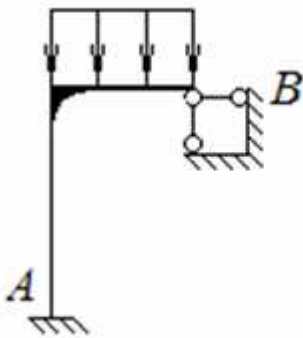


Рисунок 13.5

13.3 Канонические уравнения метода сил

а)



б)

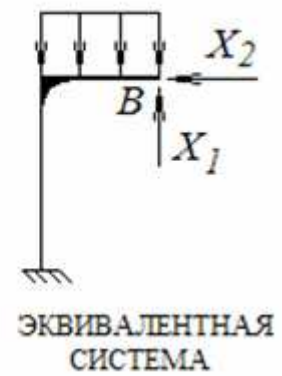


Рисунок 13.6

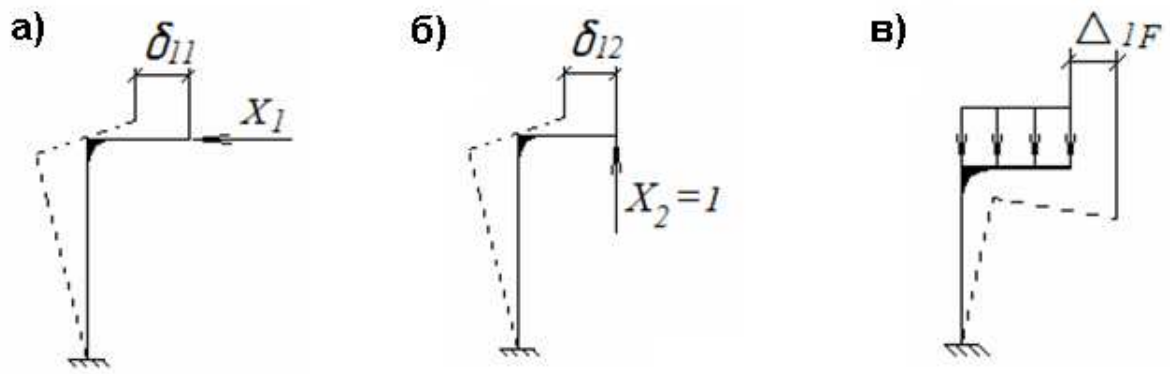


Рисунок 13.7

13.4 Последовательность расчета статически неопределимых конструкций методом сил

Задача №1. Раскрыть статическую неопределенность балки (рис. 13.8,а) и построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M .

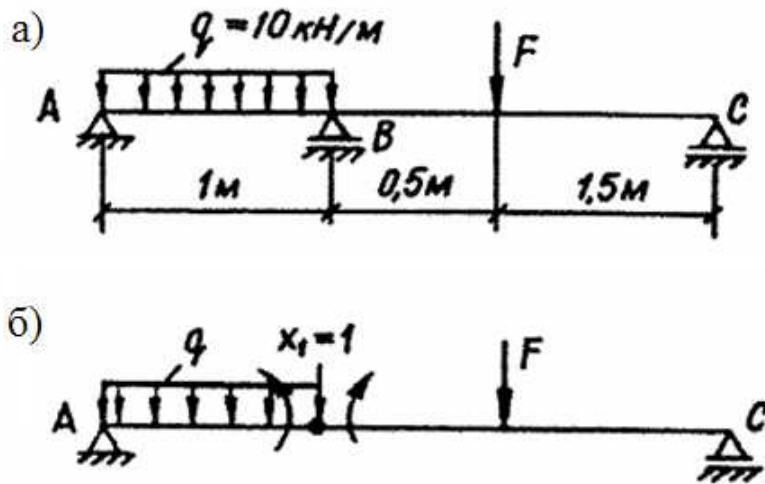


Рисунок 13.8

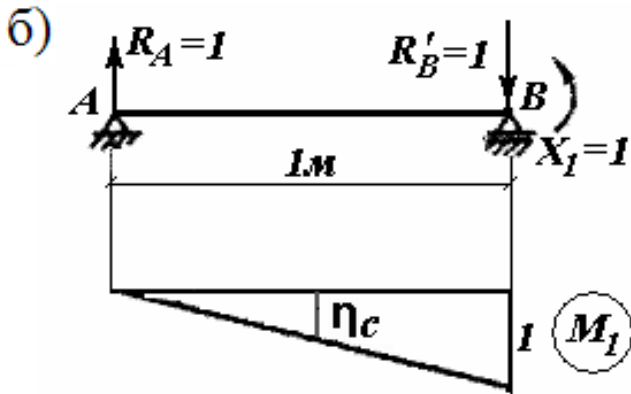
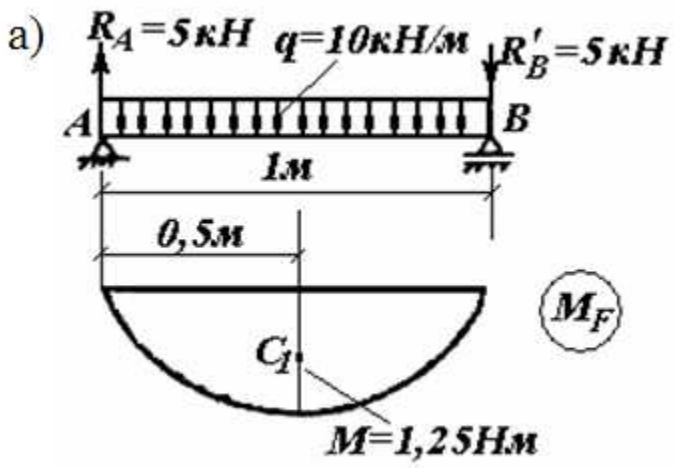


Рисунок 13.9

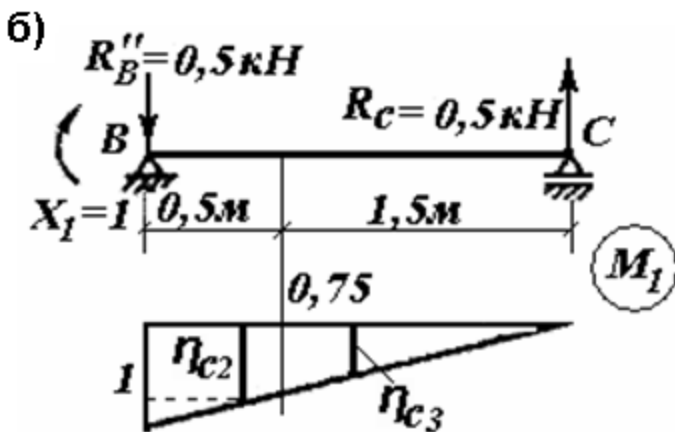
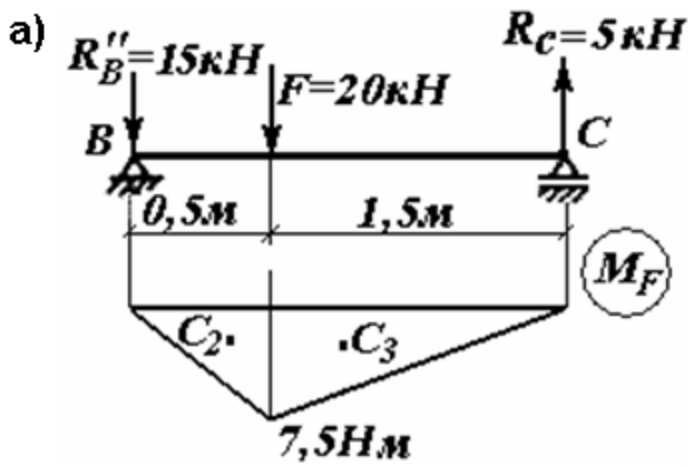


Рисунок 13.10

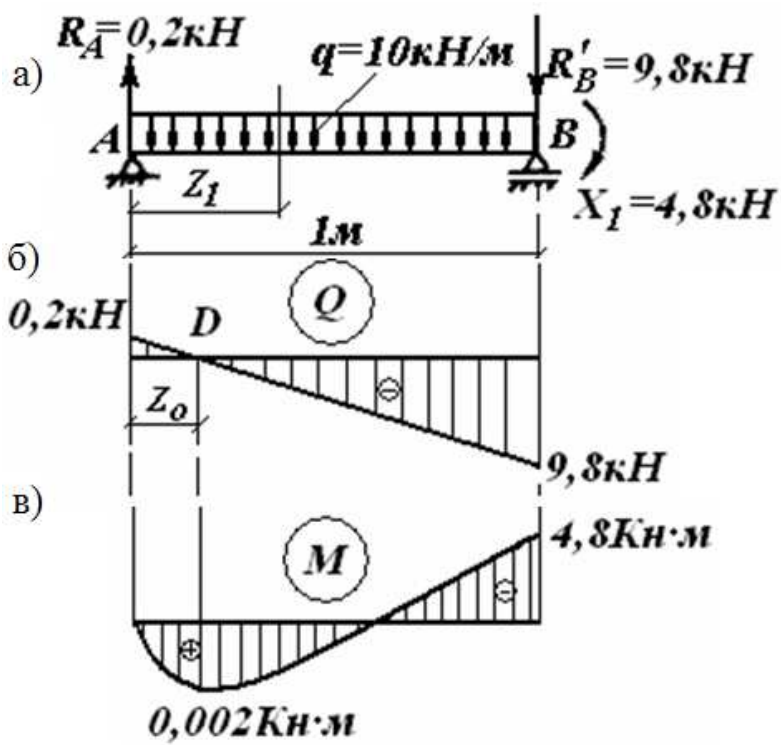


Рисунок 13.11

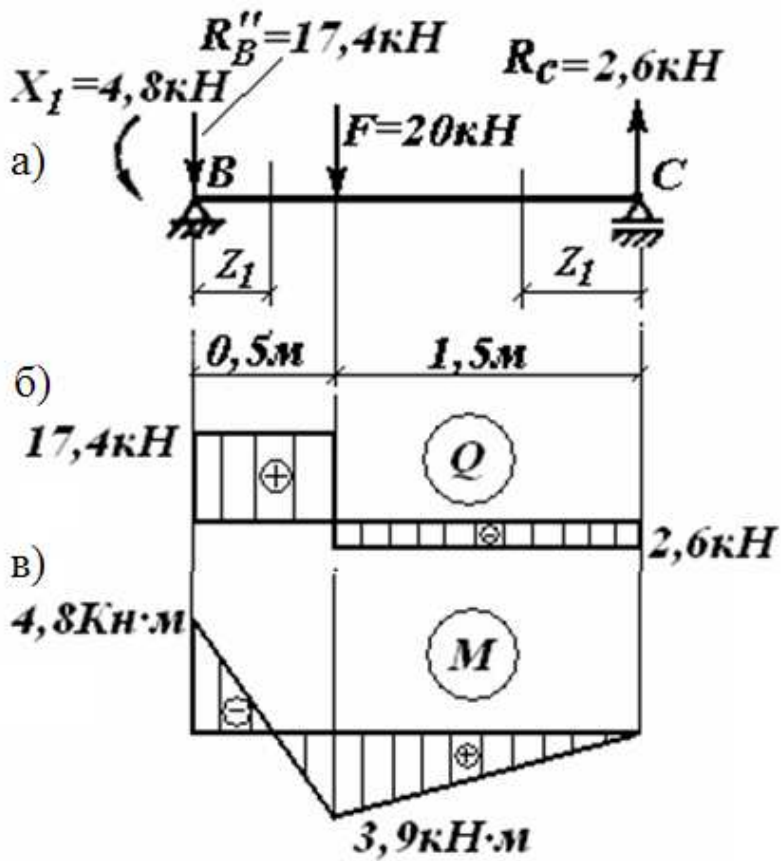


Рисунок 13.12

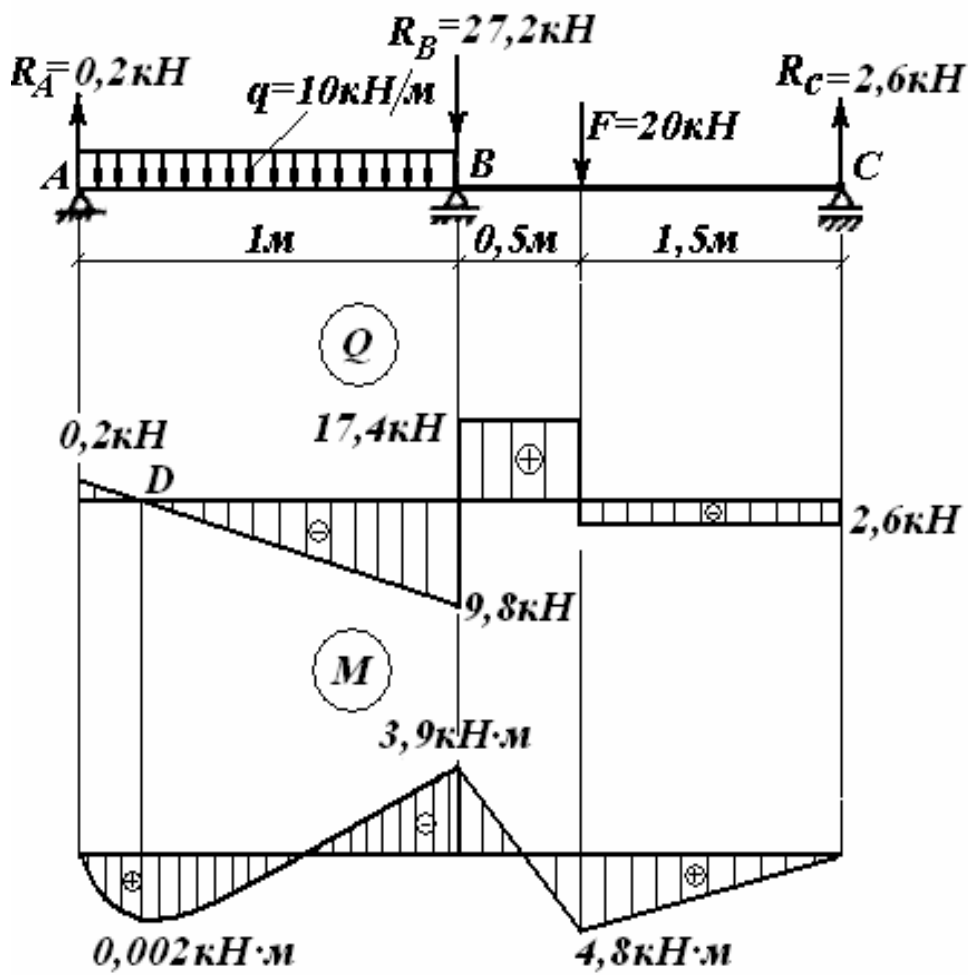


Рисунок 13.13

Контрольные вопросы для самоподготовки

1. Дать понятие статически неопределимых систем. Какова формула для определения статической неопределимости «S».
2. Дать понятие основной системы.
3. Уравнения совместности деформаций метода сил
4. Канонические уравнения метода сил.
5. Какова последовательность расчета статически неопределимых конструкций методом сил?

Лекция 14

Сложное сопротивление

14.1 Косой изгиб. Основные понятия

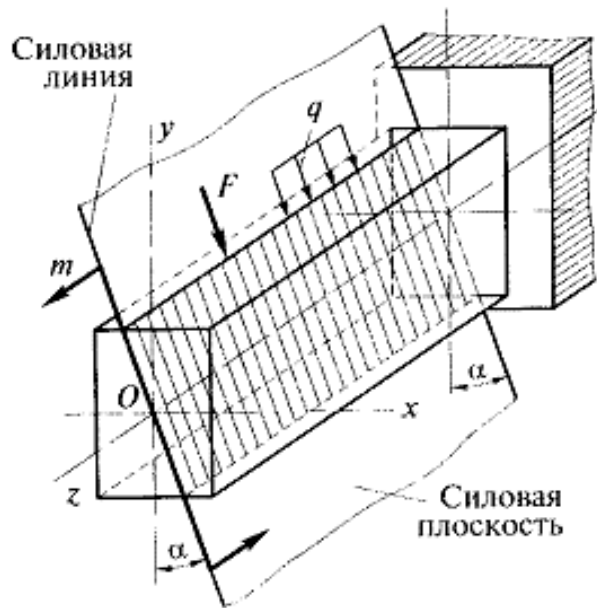


Рисунок 14.1

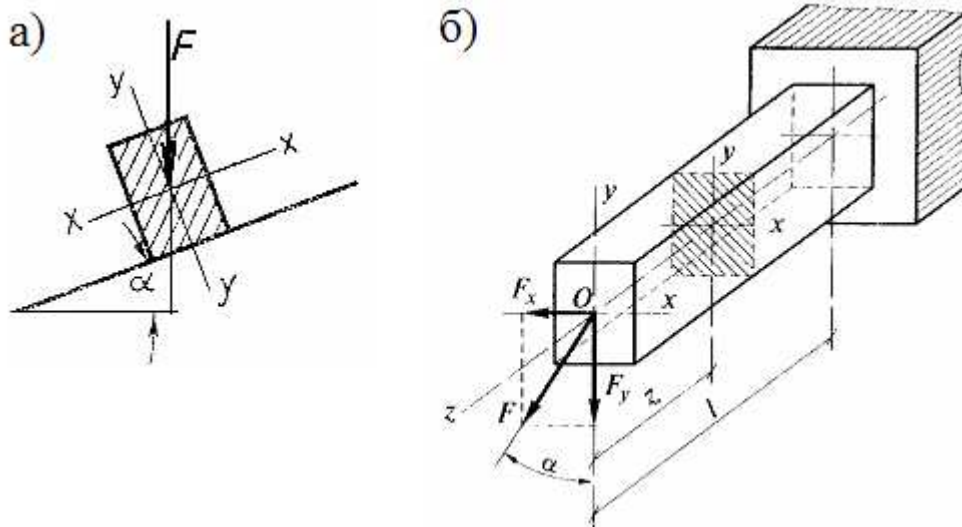


Рисунок 14.2

14.2 Усилия и напряжения при косом изгибе

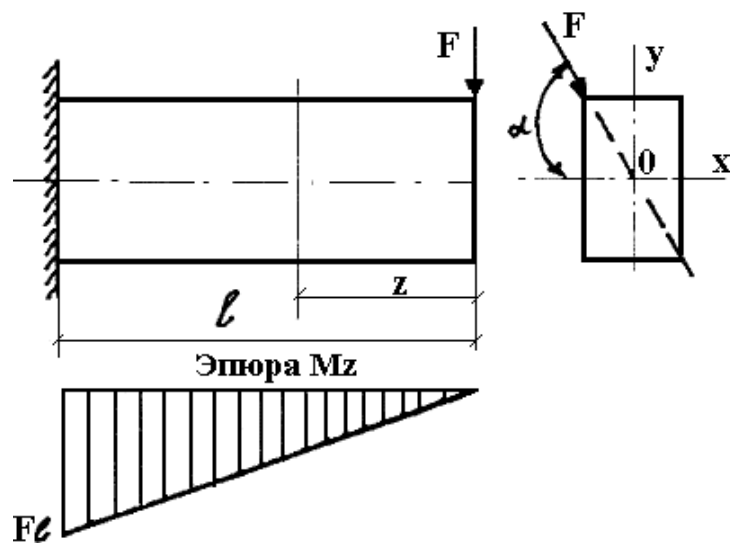


Рисунок 14.3

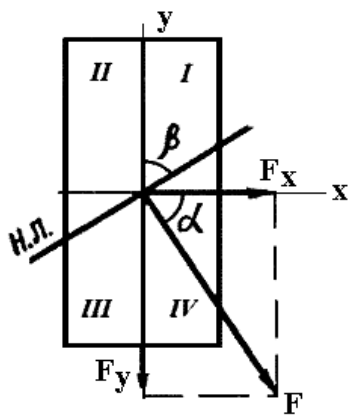


Рисунок 14.4

14.3 Нулевая линия и ее свойства

14.4 Расчет на прочность

14.5 Внецентренное растяжение (сжатие) (ВРС). Основные понятия

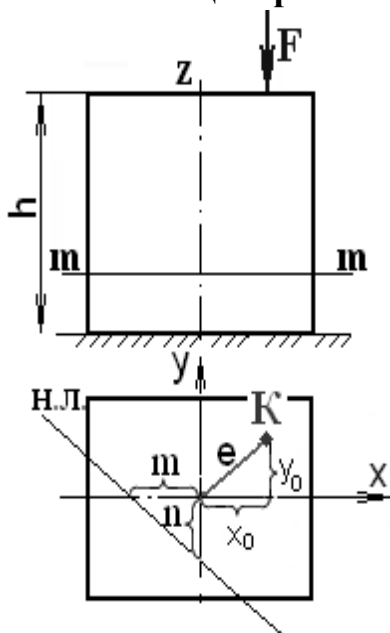


Рисунок 14.5

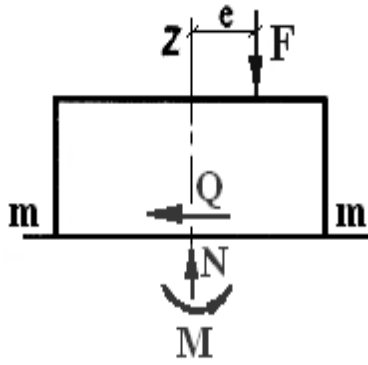
14.6 Усилия и напряжения при ВРС

Рисунок 14.6

14.7 Нулевая линия и ее свойства

Свойства нулевой линии при ВРС

1. Нулевая линия делит сечение балки на две зоны - зону растяжения и зону сжатия. В точках нулевой линии $\sigma=0$.

2. Нулевая линия прямая.

3. Нулевая линия не проходит через начало координат, т.к. в уравнении (14.19) имеется свободный член, равный 1.

4. Если центр давления лежит на главной центральной оси инерции сечения, то нулевая линия перпендикулярна этой оси и проходит с другой стороны от начала координат (рис.14.7).

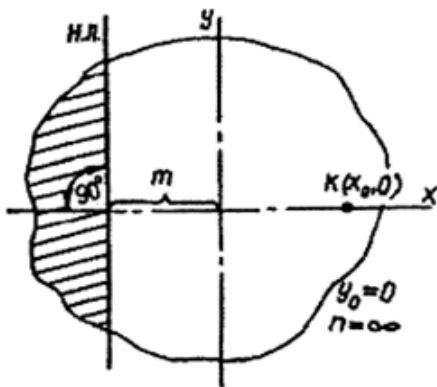


Рисунок 14.7

5. Если центр давления движется по лучу, выходящему из начала координат, то нулевая линия движется за ним (рис.14.8).

6. Если центр давления движется по прямой, пересекающей координатные оси, то нулевая линия будет вращаться вокруг некоторого центра $(\cdot)Z$ (рис.14.9), расположенного в противоположном от точки K квадранте.

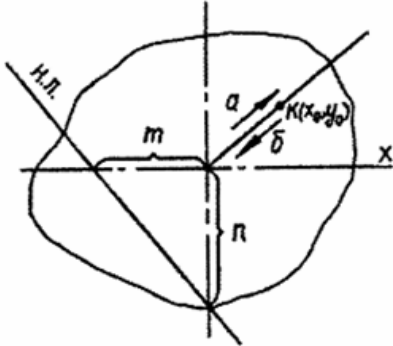


Рисунок 14.8

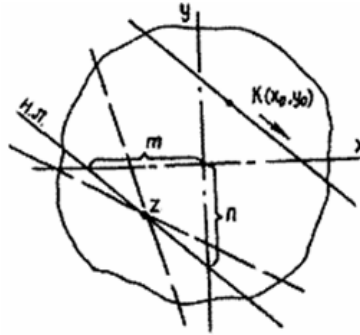


Рисунок 14.9

Задача №1. Определить положение нулевой линии, если сечение имеет размеры 20 x 30 см, сжимающая сила приложена в точке А с эксцентриситетом $e_x = -8$ см, $e_y = 9$ см (рисунок 14.10).

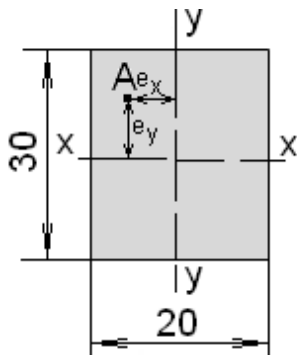


Рисунок 14.10

Задача №2. При сверлении детали на шпиндель Б сверлильного станка действует осевая сила, равная 10кН (рис.14.11). Определить диаметр сплошной чугунной колонны В. Допускаемое напряжение на растяжение для материала колонны $\sigma_{\min}=40\text{МПа}$.

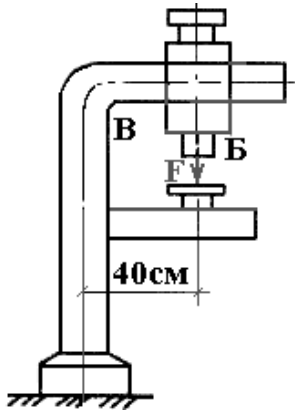


Рисунок 14.11

14.8 Ядро сечения

Задача №3. Построить ядро сечения для прямоугольника (рис.14.12) с размерами b , h .

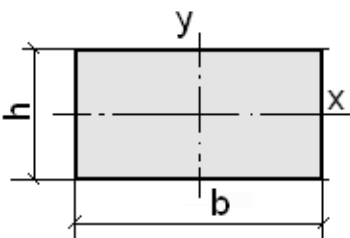


Рисунок 14.12

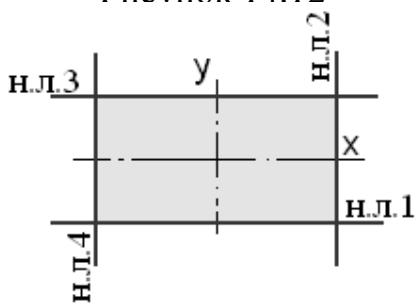


Рисунок 14.13

Рисунок 14.14

Контрольные вопросы для самоподготовки

1. Понятие о сложном сопротивлении. Косой изгиб.
2. Какие усилия и напряжения возникают при косом изгибе.
3. Что такое «нулевая линия» и каковы ее свойства.
4. Расчет на прочность.
5. Понятие об изгибе с растяжением (сжатием), кручением.
6. Понятие о внецентренном растяжении-сжатии (ВРС).
7. Расчет внутренних усилий и напряжений.
8. Свойства нулевой линии при ВРС
9. Ядро сечения. Последовательность построения ядра сечения.

Лекция 15

Устойчивость сжатых стержней

Устойчивость конструкции –

15.1 Три вида равновесия тел. Критическая сила

Существует три вида равновесия тел:

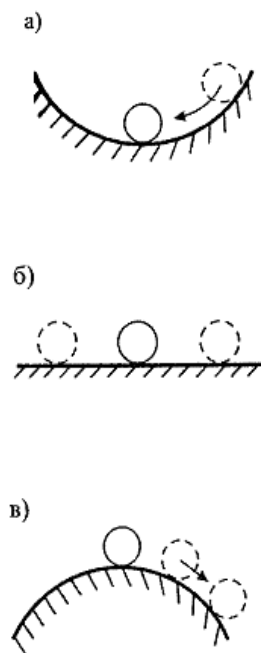


Рисунок 15.1

В механике деформируемого твердого тела вид равновесия зависит от величины приложенной к телу нагрузки.

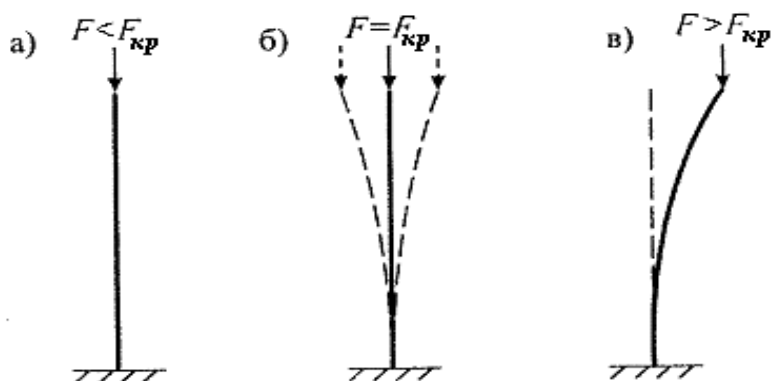


Рисунок 15.2

15.2 Продольный изгиб. Потеря устойчивости

Появление продольного изгиба опасно тем, что происходит очень быстрое нарастание прогиба, и стержень теряет устойчивость. Это приводит к разрушению конструкции либо к появлению недопустимых пластических деформаций, что делает стержень непригодным к работе.

15.3 Определение критической силы по формуле Эйлера

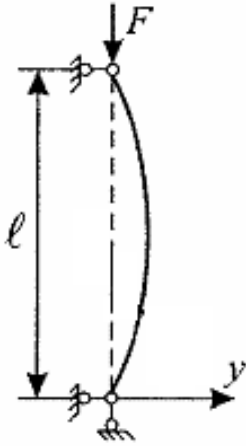


Рисунок 15.3

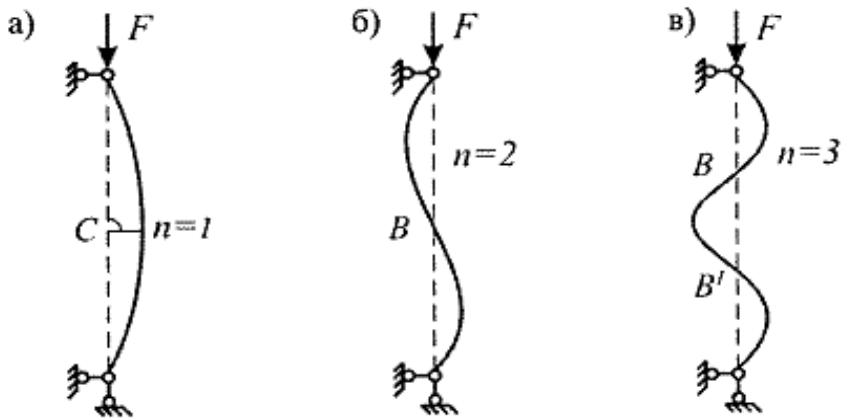


Рисунок 15.4

Формула Эйлера применима только в пределах выполнения закона Гука, когда критическое напряжение $\sigma_{кр} = F_{кр}/A$ не превышает предел пропорциональности $\sigma_{пр}$ материала стержня.

На рис. 15.5 показаны наиболее часто встречающиеся на практике случаи закрепления концов стержня и соответствующие им значения коэффициента μ

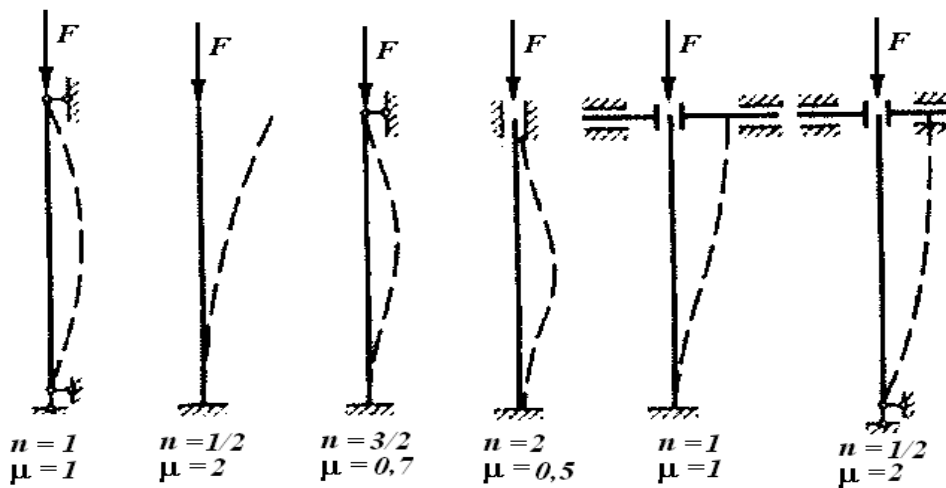


Рисунок 15.5

15.4 Критическое напряжение. Гибкость стержня. Пределы применимости формулы Эйлера

Критическое напряжение определяется по формуле:

Гибкость стержня λ :

Предельная гибкость стержня λ :

Условие применимости формулы Эйлера имеет вид:

15.5 Продольный изгиб за пределом пропорциональности

Формула Эйлера применима только в случае упругих стержней. Теоретическое решение задачи об устойчивости за пределом пропорциональности ведут по эмпирическим формулам.

Наиболее простой эмпирической формулой является формула Ф.С. Ясинского:

Критическая сила по формуле Ясинского:

Условие применимости формулы Ясинского имеет вид:

15.5 Диаграмма критических напряжений

В зависимости от гибкости сжатые стержни делятся на три категории:

1. Стержни большой гибкости,
2. Стержни средней гибкости
3. Стержни малой гибкости

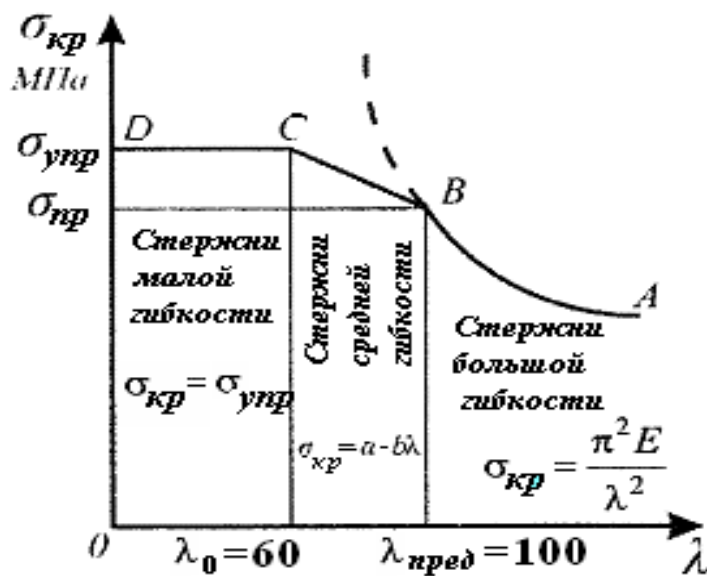


Рисунок 15.6

Контрольные вопросы для самоподготовки

1. Дать определение устойчивости.
2. Формы упругого равновесия.
3. Что такое критическая сила, критическое напряжение. Как они рассчитываются?
4. Понятие гибкости стержня.
5. Записать и пояснить формулу Эйлера для критической силы сжатого стержня и пределы ее применимости.
6. Что такое продольный изгиб за пределом пропорциональности? Формула Ясинского.
7. Как влияют условия закрепления концов стержня на величину критической силы?
8. Гибкость стержней. Диаграмма критических напряжений.

Лекция 16**Практический метод расчета на устойчивость сжатых стержней**

Сжатый стержень может выйти из строя по двум причинам:

- 1) *вследствие потери прочности, если в стержне из пластического материала не выполняется условие $\sigma \leq \sigma_y$, а в стержне из хрупкого материала – условие $\sigma \leq \sigma_u$;*
- 2) *вследствие потери устойчивости, если в стержне из любого материала не выполняется условие $\sigma \leq \sigma_{cr}$;*

Формулы (16.3)...(16.8) довольно громоздки и рациональны для использования в инженерно-вычислительных программах, для автоматизированного расчета конструкций.

Чаще всего пользуются табличными значениями коэффициента φ (таблица 16.1).

Таблица 1.16 Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов

Гибкость λ	Значения φ для элементов из							
	стали с расчетным сопротивлением R_s , МПа							древесины
	200	240	280	320	360	400	440	
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	0,988	0,987	0,985	0,984	0,983	0,982	0,981	0,992
20	0,967	0,962	0,959	0,955	0,952	0,949	0,946	0,968
30	0,939	0,931	0,924	0,917	0,911	0,905	0,900	0,928
40	0,906	0,894	0,883	0,873	0,863	0,854	0,846	0,872
50	0,869	0,852	0,836	0,822	0,809	0,796	0,785	0,800
60	0,827	0,805	0,785	0,766	0,749	0,721	0,696	0,712
70	0,782	0,754	0,724	0,687	0,654	0,623	0,595	0,608
80	0,734	0,686	0,641	0,602	0,566	0,532	0,501	0,469
90	0,665	0,612	0,565	0,522	0,483	0,447	0,413	0,370
100	0,599	0,542	0,493	0,448	0,408	0,369	0,335	0,300
110	0,537	0,478	0,427	0,381	0,338	0,306	0,280	0,248
120	0,479	0,419	0,366	0,321	0,287	0,260	0,237	0,208
130	0,425	0,364	0,313	0,276	0,247	0,223	0,204	0,178
140	0,376	0,315	0,272	0,240	0,215	0,195	0,178	0,153
150	0,328	0,276	0,239	0,211	0,189	0,171	0,157	0,133
160	0,290	0,244	0,212	0,187	0,167	0,152	0,139	0,117
170	0,259	0,218	0,189	0,167	0,150	0,136	0,125	0,104
180	0,233	0,196	0,170	0,150	0,135	0,123	0,112	0,093
190	0,210	0,177	0,154	0,136	0,122	0,111	0,102	0,083
200	0,191	0,161	0,140	0,124	0,111	0,101	0,093	0,075
210	0,174	0,147	0,128	0,113	0,102	0,093	0,085	0,068
220	0,160	0,135	0,118	0,104	0,094	0,086	0,077	0,062

Примечание: 1. Для определения промежуточных значений φ допускается линейная интерполяция. **2.** Значения φ для элементов из стали с расчетным сопротивлением $R_s > 440$ МПа следует определять по формулам (16.6)...(16.8) или по таблице, приводимой в СНиП.

Обычно условие устойчивости записывают так, чтобы напряжения можно было сравнивать непосредственно с расчетным сопротивлением. Для этого коэффициент продольного изгиба переносят в знаменатель и в левой части неравенства вместо действительных получают условные напряжения:

$$\sigma_{\text{эф}} = \frac{N}{\varphi A} \leq R_{\text{тс}} \quad (16.9)$$

Из сопоставления неравенств (4.9) и (16.9) видно, что условие устойчивости сжатых стержней внешне напоминает условие прочности. Принципиальное отличие заключается во введении понижающего коэффициента $\varphi < 1$ и замене площади поперечного сечения нетто площадью брутто.

Условие (16.9) позволяет производить три вида расчета на устойчивость:

1. Проверка устойчивости

2. Подбор сечения

3. Определение эксплуатационной способности

При выборе формы поперечного сечения следует иметь в виду, что в соответствии с любой из приведенных ранее формул критической силы или критического напряжения, сечение тем выгоднее, чем больше его

минимальный момент инерции J_{min} (или радиус инерции i_{min}) при одной и той же площади.

В стальных конструкциях распространены сквозные стержни, состоящие из ветвей в виде прокатных профилей (швеллеров, уголков и двутавров), соединенных между собой решеткой (рис.16.1,а) или планками (рис.16.1,б...г).

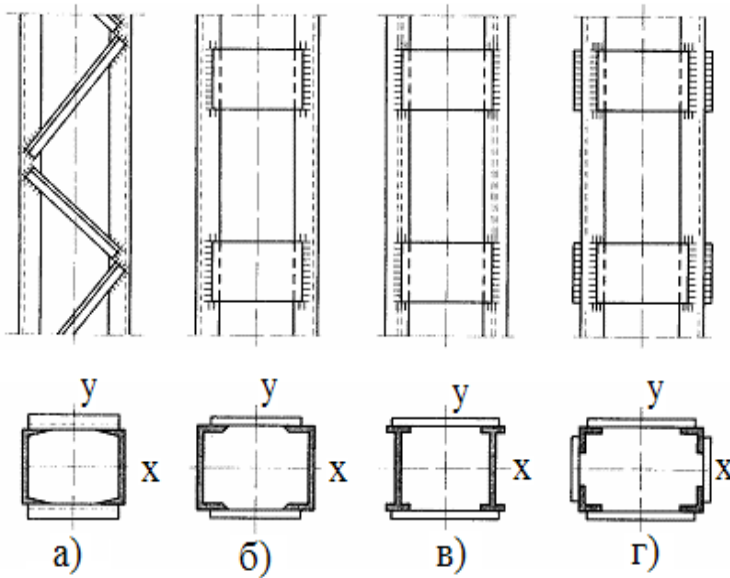


Рисунок 16.1

Равноустойчивость достигается раздвижкой ветвей на требуемое расстояние.

Наиболее распространены двухветвевые стержни из швеллеров полками внутрь (рис.16.1,а,б).

Сечение из двух двутавров (рис.16.1,в) применяется при значительных нагрузках, использование швеллеров.

Четырехветвевые стержни (рис.16.1,г) находят применение в тех случаях, когда при малой площади сечения необходимо обеспечить достаточную жесткость (мачты, крановые стрелы и т.п.).

Контрольные вопросы для самоподготовки

1. По каким причинам сжатый стержень может выйти из строя?
2. Запишите условие устойчивости и поясните его.
3. Что такое условная гибкость стержня?
4. Какие виды расчета на устойчивость известны?
5. Какое условие желательно соблюдать при выборе формы поперечного сечения стержня?
6. Какие стержни наиболее распространены в стальных конструкциях и почему?

Приложение

**Варианты заданий для контрольной работы по дисциплине
«Сопротивление материалов»**

Задача №3

Для двухопорной балки требуется:

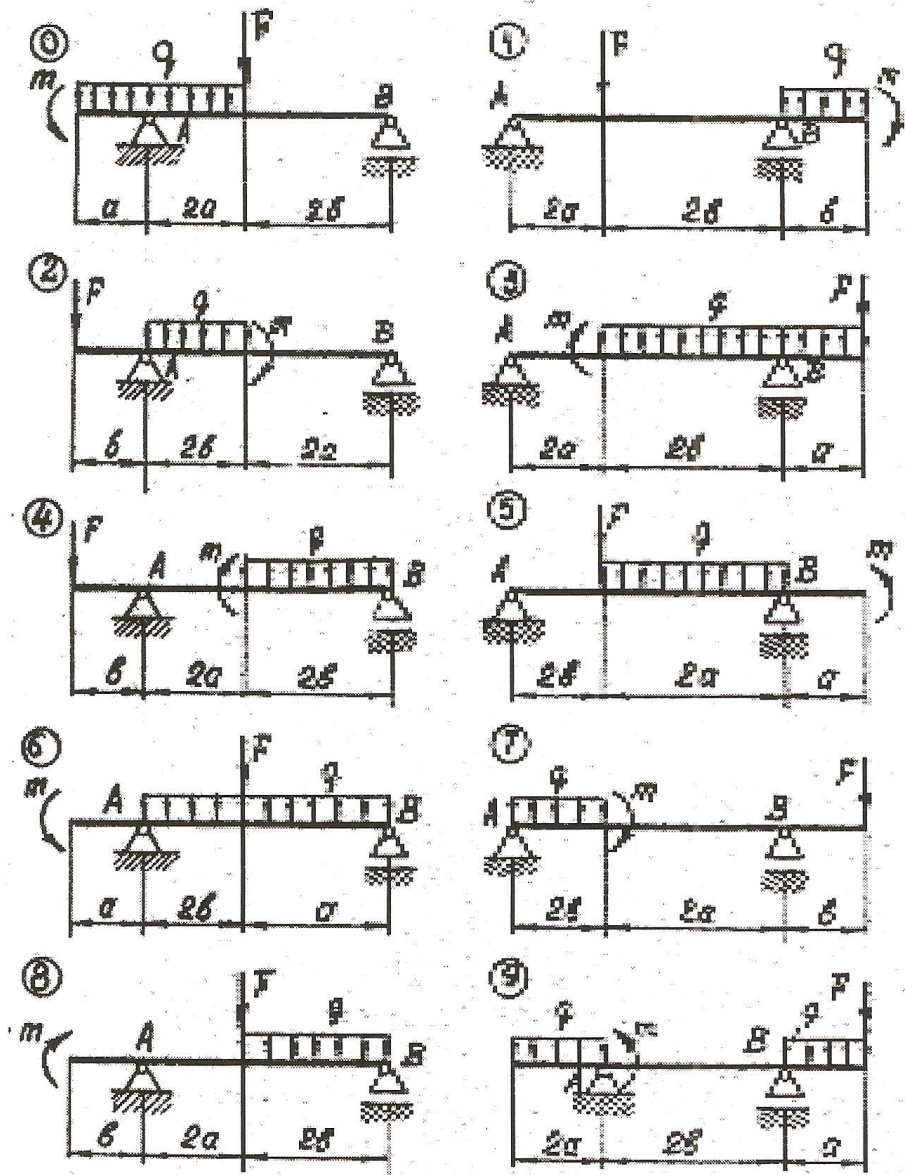
1. Построить эпюры поперечной силы Q и изгибающего момента M .
2. Найти положение опасного сечения, определив величину максимального изгибающего момента и поперечной силы.
3. Подобрать стальную балку двутаврового поперечного сечения при $[\sigma] = 160\text{МПа}$.
4. Проверить балку на прочность по касательным напряжениям. Допускаемое касательное напряжение для стали $[\tau] = 100\text{МПа}$.

Числовые данные к задаче №3

Размеры балки, м		Нагрузка			Номер строки
а	б	F, кН	m, кН·м	q, кН/м	
1	1	10	20	20	1
2	1	20	10	20	2
1	2	15	10	10	3
0,5	0,5	10	15	10	4
1	0,5	20	10	15	5
0,5	0,5	10	10	15	6
1	0,5	15	15	10	7
2	2	20	10	10	8
1	1	10	10	20	9
2	1	15	20	20	0

Вариант *схемы* выбирается по последней цифре зачетной книжки, вариант *числовых данных* – по предпоследней цифре зачетной книжки. Пример решения типовой задачи – см. Практическое занятие №8.

Расчетные схемы к задаче №3



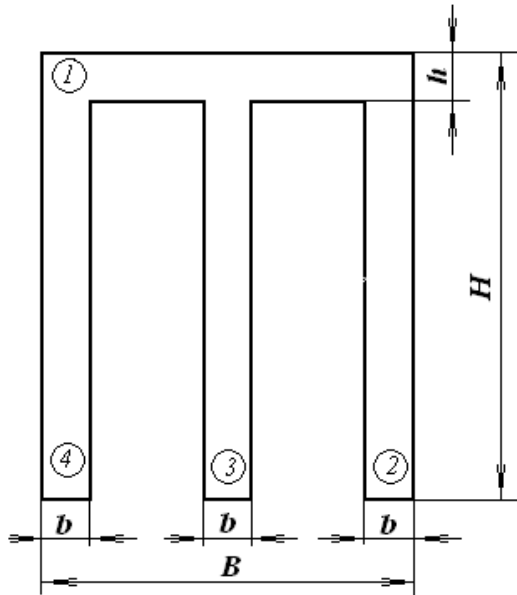
Задача №4

(тема «Геометрические характеристики плоских сечений»)

Для сечения показанного на рисунке по заданным размерам $H=45\text{мм}$, $h=5\text{мм}$, $b=4\text{мм}$, $B=30\text{мм}$ определить:

- 1) центр тяжести сечения;
- 2) осевые моменты инерции сечения относительно центральных осей.

При решении задачи рисунки выполнять в масштабе 2:1 относительно заданных размеров.



Рисунок

Подписано в печать 15.03.18. Формат 84x108/16

Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Бумага мелованная. Усл. Печ. л. – 8,19

Тираж 50 экз.

Издательство Современного технического университета

390008, г. Рязань, ул. Новоселов, 35А.

(4912) 300630, 30 08 30