

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Брянский государственный аграрный университет»

Брасовский промышленно-экономический техникум

Е.Г. Чапурина

## **ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

Учебно-методическое пособие

Брянская область 2015

УДК 372.862  
ББК 74.57  
Ч 19

Чапуринa, Е.Г. **Техническая механика**: учебно-методическое пособие по самостоятельной работе обучающихся / Е.Г. Чапурина. – Локоть: Брасовский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2015.- 38 с.

В пособии приведен перечень видов самостоятельной работы по всем разделам рабочей программы дисциплины, определены объем времени на их выполнение, формы выполнения и контроля. К каждому виду работы даны методические указания и рекомендации по выполнению приведенных в пособии заданий.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений»

Рецензенты:

Астахова О.М., преподаватель технических дисциплин (Брасовский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ)

Другова Г.Е., методист (Брасовский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ)

*Рекомендовано к изданию решением учебно-методическим советом филиала ФГБОУ ВО «Брянский аграрный университет» - Брасовский промышленно-экономический техникум от 25.05.2015 года, протокол № 5.*

© ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2015  
© Чапурина Е.Г., 2015

<b>Содержание</b>	<b>стр.</b>
Введение.....	4
Перечень самостоятельных работ.....	6
Тематика и методические указания обучающимся по проработке конспекта занятия.....	8
Методические указания по выполнению домашних заданий.....	16
Методические указания по подготовке к итоговой контрольной работе по теме.....	34
Перечень рекомендуемой литературы.....	37

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно – исследовательская работа обучающихся, выполняемая в неаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа является важным видом учебной и научной деятельности обучающихся в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами среднего профессионального образования.

Целью самостоятельной работы является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа обучающихся способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами самостоятельной работы обучающихся являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и дипломной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

В образовательном процессе среднего профессионального образовательного учреждения выделяется два вида самостоятельной работы – аудиторную, под руководством преподавателя, и внеаудиторную. Тесная взаимосвязь этих видов работ предусматривает дифференциацию и эффективность результатов ее выполнения и зависит от организации, содержания, логики учебного процесса (межпредметных связей, перспективных знаний и др.).

Аудиторная самостоятельная работа по профессиональному модулю выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основными видами самостоятельной работы студентов без участия преподавателей являются:

- формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной преподавателем учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);

- проработка материала конспекта, составленного на уроке при изучении нового материала;

- написание рефератов;

- подготовка к семинарам и лабораторным работам, их оформление;

- выполнение микроисследований;

- подготовка практических разработок;

- выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.;

- компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов.

По дисциплине «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» практикуются следующие виды и формы самостоятельной работы студентов:

- проработка (усвоение) материала конспекта;

- выполнение домашних заданий;

Максимальное количество часов на дисциплину «техническая механика», предусмотренное учебным планом, составляет-198 часов, в том числе:

обязательная аудиторная нагрузка обучающегося составляет 132 часа;

самостоятельная работа обучающегося - 66 часов

Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 50% от количества аудиторных часов, отведённых на изучение темы. Самостоятельная работа студентов является обязательной для каждого студента и определяется учебным планом.

## ПЕРЕЧЕНЬ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ по дисциплине «техническая механика»

№ и наименование темы, раздела	Наименование вида самостоятельной работы	Количество часов	Форма выполнения	Форма контроля
<b>Раздел I Теоретическая механика</b> Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики.	Подготовка конспекта по изучению направлений реакций основных видов связей, встречающихся в различных конструкциях.	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля	Устный опрос
Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил.	Построение проекций силы на оси координат	3	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля	Письменный опрос Проверка выполнения практического задания
Тема 1.3 Пара сил.	Изучение условия равновесия плоской системы пар.	1	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля	Письменный опрос
Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил.	Изучение различных случаев приведения плоской системы произвольно-расположенных сил.	4	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос Письменный опрос Проверка выполнения практического задания
Тема 1.5 Пространственная система сил.	Ознакомление с условиями равновесия пространственной системы произвольно-расположенных сил.	1	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос
Тема 1.6. Центр тяжести тела и плоских фигур.	Определение положения центра тяжести сечения, составленного из профиля прокатной стали.	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос Письменный опрос Проверка выполнения практического задания
Тема 1.7. Устойчивость равновесия.	Изучение условий устойчивости тела.	1	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос
Тема 1.8. Основы кинематики и динамики.	Изучение уравнений для решения задач кинематики и динамики.	3	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос
<b>Раздел II Сопротивление материалов</b> Тема 2.1 Основные положения. Цели и задачи. Деформация. Метод сечений.	Ознакомление с основными деформациями, возникающими в процессе эксплуатации элементов конструкции.	1	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос
Тема 2.2 Растяжение и сжатие.	Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений	6	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля	Письменный опрос Проверка выполнения практического задания
Тема 2.3. Практические расчеты на срез и смятие.	Ознакомление с условиями прочности при сдвиге.	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос
Тема 2.4. Геометрические характеристики плоских сечений.	Определение основных геометрических характеристик плоских фигур.	4	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для само-	Устный опрос Письменный опрос Проверка выпол-

			контроля,	нения практического задания
Тема 2.5. Поперечный изгиб прямого бруса.	Изучение правил построения эпюр Q и M при изгибе прямого бруса.	9	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос Проверка выполнения практического задания
Тема 2.6. Сдвиг и кручение брусьев круглого сечения.	Изучение правил построения эпюр крутящих моментов	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос
Тема 2.7. Сложное сопротивление.	Определение максимальных изгибающих моментов при косом изгибе.	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Проверка решения задач
Тема 2.8. Устойчивость центрально-сжатых стержней.	Изучение расчетов на устойчивость центрально-сжатых стержней	4	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Проверка решения задач Проверка выполнения практического задания
<b>Раздел 3. Статика сооружений</b>	Изучение расчетных схем зданий и сооружений.		Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос
Тема 3.1. Основные положения и задачи раздела.		1		
Тема 3.2. Исследование геометрической неизменяемости плоских стержневых систем.	Изучение правил образования геометрически неизменяемых систем	3	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос Проверка решения задач
Тема 3.3. Многопролетные статически определимые (шарнирные) балки.	Построение схем взаимодействия многопролетных статически определимых балок.	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Проверка решения задач Проверка выполнения практического задания
Тема 3.4. Статически определимые плоские рамы.	Анализ статической определимости рамных систем.	3	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Письменный опрос
Тема 3.5. Трехшарнирные арки.	Определение внутренних усилий в произвольном сечении арки.	1	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Проверка решения задач
Тема 3.6. Статически определимые плоские фермы.	Исследование условий геометрической неизменяемости ферм.	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос Проверка выполнения практического задания
Тема 3.7. Определение перемещений в статически определимых плоских системах.	Определение перемещений в плоских рамных конструкциях	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Проверка решения задач
Тема 3.8. Основы расчета статически неопределимых систем по методу сил.	Исследование степени статической неопределимости рамных и балочных систем.	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос Проверка выполнения практического задания
Тема 3.9. Неразрезные балки.	Изучение методики определения внутренних силовых факторов.	2	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Проверка решения задач
Тема 3.10. Подпорные стены.	Изучение формул для определения активного давления.	1	Подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля,	Устный опрос

## ТЕМАТИКА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ПРОРАБОТКЕ КОНСПЕКТА ЗАНЯТИЯ

Задача обучающихся в процессе умелой и целеустремленной работы на занятиях – внимательно слушать преподавателя, следить за его мыслью, предлагаемой системой логических посылок, доказательств и выводов, фиксировать (записывать) основные идеи, важнейшие характеристики понятий, теорий, наиболее существенные факты. Лекция задает направление, содержание и эффективность других форм учебного процесса, нацеливает обучающихся на самостоятельную работу и определяет основные ее направления (подготовку к семинарам, написание контрольных работ, докладов, рефератов).

Активная, вдумчивая и плодотворная работа на занятиях – ключ к усвоению сложных и необходимых знаний по теме.

Несмотря на то, что в библиотеке образовательного учреждения, в читальных залах, в Интернете есть необходимая информация по теме для прохождения текущего и итогового контроля по теме, обучающемуся необходимо посещать все занятия по нескольким причинам

Во-первых, человек лучше и легче усваивает информацию при непосредственном общении с преподавателем. Эмоционально рассказанный материал лекции не заменят ни учебники, ни Интернет.

Во-вторых, обучающийся приходит на занятие учиться. Посещение занятия экономит время на подготовку к контрольным работам, контрольным опросам, тестированию, сдаче зачета. Лекции позволяют за небольшой промежуток времени проникнуть в сущность глобальных явлений, процессов. Кроме этого, у обучающегося есть возможность задавать вопросы. На возникающие вопросы можно быстро получить ответ, записав и задав их преподавателю в конце занятия или после нее, на консультации. Вопросы помогут разобраться в том, что излагает преподаватель; связать новое с тем, что тебе уже известно по данной теме из предыдущих лекций, прочитанных книг и журналов.

В-третьих, занятия дают основные ориентиры в необъятном море огромного количества тематического материала.

Усвоив материал лекции, студент обязан еще и работать самостоятельно, читать дополнительную литературу, предлагаемую для подготовки к следующим занятиям. Но основой для понимания будет все-таки лекция и написанный студентом конспект. Правильно написанный конспект помогает усвоить 80 % нужной информации.

В-четвертых, лекции преподавателя отражают последние достижения науки, а учебник, полученный Вами в библиотеке, может быть безнадежно устаревшим. Она лучше других форм компенсирует отсутствие новейших современных учебников и учебных пособий, оперативно знакомит с новейшими данными науки.

Таким образом, важность работы на лекции обусловлена освоением существенного, необходимого материала для понимания современных проблем.

Хороший конспект – залог четких ответов на занятиях, хорошего выполнения контрольных опросов и контрольных работ. Значимость конспектирова-



ния на лекционных занятиях несомненна. Проверено, что составление эффективного конспекта лекций может сократить в четыре раза время, необходимое для полного восстановления нужной информации.

Перед каждым занятием необходимо внимательно прочитать материал предыдущей лекции, внести исправления, выделить важные аспекты изучаемого материала.

Проработка материала конспекта, осуществляется, как правило, обучающимся дома при выполнении домашнего задания.

Процесс проработки материала конспекта складывается из следующих этапов:

1. Чтение материала конспекта;
2. Поиск в конспекте ответов на вопросы, предложенные для самоконтроля обучающегося;
3. Построение логичного и стройного пересказа текста конспекта на основании ответов на вопросы, предназначенные для самоконтроля обучающихся.

При чтении конспекта, составленного в ходе занятия, необходимо выделять главную информацию и ее запомнить. При чтении лекции следует обратить внимание на используемые при написании конспекта условные обозначения, выделения текста цветными чернилами, крупными буквами, подчеркивание отдельных фраз и предложения, которые используются для выделения главной информации в тексте.

После усвоения каждой темы рекомендуется проверять свои знания, отвечая на вопросы контрольных тестов и составляя необходимые схемы, таблицы.

При ответе на вопросы, предназначенные для самоконтроля обучающихся, в случае выявления пробелов в знаниях основных институтов, понятий, процессов и процедур, допускается повторное прочтение конспекта лекции.

После ответа на вопросы самоконтроля обучающимся следует пересказать текст лекции. Главное требование пересказа – сжатое изложение материала конспекта, при этом должны быть выделена основная (главная) информация.

Освоение материала конспекта можно считать успешным, если обучающий пересказывает его без обращения к тексту конспекта.

#### Вопросы для самоконтроля к теме 1.1

1. На какие разделы делится теоретическая механика? Что они изучают?
2. Что называется материальной точкой?
3. Дать определение «свободное тело», «связанное тело»;
4. Что называется силой? В каких единицах она измеряется?
5. Какие силы называются «внешними», «внутренними»?
6. Что называется равнодействующей двух сил?
7. Перечислить частные случаи сложения двух сил;
8. Перечислить условия при которых тело может находиться в равновесии;
9. Что называется «связью», «реакцией связи»?
10. Перечислить основные виды связей. Как определяются их реакции?
11. Какие силы называют «активными», «реактивными»?

Вопросы для самоконтроля к теме 1.2.

- 1.Какая система сил называется плоской системой сходящихся сил?
- 2.Чему равна равнодействующая плоской системы сходящихся сил?
3. Что называется силовым многоугольником?
4. В каком случае система сходящихся сил находится в равновесии?
5. Что называется проекцией силы на ось координат?
6. Перечислите аналитические условия равновесия плоской системы сходящихся сил;

Вопросы для самоконтроля к теме 1.3.

- 1.Какая система сил называется парой сил?
2. Что называется плоскостью действия пары?
3. Что называется плечом пары?
4. Что называется моментом пары?
5. Перечислите основные свойства пары;
6. Когда две пары называются эквивалентными?
7. При каком условии плоская система пар находится в равновесии?
8. Сформулируйте теорему о сложении пар;

Вопросы для самоконтроля к теме 1.4.

- 1.Сформулируйте лемму о параллельном переносе силы;
2. Что называют главным вектором системы произвольно расположенных сил?
3. Перечислите свойства главного вектора;
- 4.Что называют главным моментом системы произвольно расположенных сил?
5. Перечислите свойства главного момента;
6. Укажите четыре возможных случая приведения плоской системы произвольно расположенных сил;
- 7 Приведите аналитические условия равновесия плоской системы произвольно расположенных сил;

Вопросы для самоконтроля к теме 1.5.

- 1.Какая система сил называется пространственной системой сходящихся сил?
2. Как определить проекцию силы на ось?
3. Сформулируйте правило знаков для проекций;
4. Как определяется равнодействующая трех взаимно перпендикулярных сил?
5. Приведите аналитические условия равновесия пространственной системы сил;
6. Что называется моментом силы относительно оси?
7. Сформулируйте правило знаков для момента силы относительно оси;

Вопросы для самоконтроля к теме 1.6.

- 1.Что называется центром параллельных сил?
- 2.Что называется центром тяжести тела?
- 3.Как определить координаты центра тяжести тела?
- 4.В чем заключается метод симметрии для нахождения центра тяжести?

5. Сформулируйте сущность метода разбиения для нахождения центра тяжести тела?

6. В чем заключается метод отрицательных масс для нахождения центра тяжести?

7. Где находится центр тяжести прямоугольника, треугольника, круга?

8. Как определить центр тяжести сечения составленного из профилей прокатной стали?

Вопросы для самоконтроля к теме 1.7.

1. Какая система сил действует на тело в момент начала опрокидывания?

2. В каком случае опрокидывания не произойдет?

3. Что называется моментом устойчивости?

4. Что называется опрокидывающим моментом?

5. Сформулируйте условие устойчивости против опрокидывания;

6. Что называется коэффициентом устойчивости?

Вопросы для самоконтроля к теме 1.8.

1. Дать определения основным понятиям кинематики (путь, скорость, ускорение, траектория);

2. Какие существуют способы задания движения точки?

3. Перечислите виды движения точки?

4. Какое движение называется ускоренным, замедленным?

5. Какое движение тела называют поступательным?

6. Какое движение называется вращательным?

7. Что называется угловым перемещением тела?

8. Перечислите различные виды вращательного движения тела;

9. Сформулируйте основное уравнение динамики точки;

Вопросы для самоконтроля к теме 2.1.

1. Что называется прочностью материала?

2. Что позволяет определить расчет на прочность?

3. Что понимается под жесткостью?

4. Что называется упругостью, упругой деформацией?

5. Какие материалы называют хрупкими?

6. Что называют нагрузками? Перечислите и охарактеризуйте виды нагрузок;

7. Какие основные деформации испытывают в процессе эксплуатации элементы конструкций?

8. В чем заключается метод сечений?

9. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении бруса при разных деформациях?

10. В каких случаях имеет место сочетание основных деформаций?

Вопросы для самоконтроля к теме 2.2.

1. Какой вид деформации называется растяжением или сжатием?

2. Чему равна продольная сила, возникающая в поперечном сечении бруса?

3. Чему равны нормальные напряжения?
4. Сформулируйте закон Гука;
5. Что характеризует коэффициент пропорциональности  $E$ ?
6. Что характеризуется коэффициентом Пуассона?
7. Что можно определить путем механических испытаний стандартных образцов, изготовленных из исследуемого материала?
8. Что называется пределом пропорциональности; пределом упругости; пределом текучести; пределом прочности; напряжением разрыва?
9. Что называется предельным напряжением; допускаемым напряжением; коэффициентом запаса прочности?
10. Сформулируйте три вида расчетных формул при расчете конструкций на прочность;

Вопросы для самоконтроля к теме 2.3.

1. В каких случаях может произойти смятие поверхностей деталей?
2. Какой вид имеет уравнение на смятие?
3. Какой вид деформации называется сдвигом?
4. Чему равна поперечная сила при сдвиге?
5. Какие напряжения возникают при деформации сдвига, по какой формуле можно их определить?
6. Какой вид деформации называется срезом; скалыванием?
7. Что называется углом сдвига; абсолютным сдвигом?
8. Сформулируйте закон Гука при сдвиге;

Вопросы для самоконтроля к теме 2.4.

1. Что называется статическим моментом площади плоской фигуры?
2. Когда статический момент площади равен нулю?
3. Что называется полярным моментом инерции плоской фигуры?
4. Что называется осевым моментом инерции плоской фигуры?
5. Какие оси называются главными осями инерции?
6. Какой момент инерции называется главным моментом инерции?
7. Что называется главной центральной осью? главным центральным моментом инерции?

Вопросы для самоконтроля к теме 2.5.

1. Какой вид деформации называется чистым изгибом?
2. В каком случае изгиб называется прямым?
3. Какой изгиб называется поперечным?
4. Чему равен изгибающий момент возникающий в сечении балки?
5. Чему равна поперечная сила, действующая в сечении балки?
6. Сформулировать правило знаков для изгибающих моментов и поперечных сил;
7. Как строят эпюры поперечных сил и изгибающих моментов?
8. Чему равны нормальные напряжения при чистом изгибе?
9. Какой вид имеет расчетная формула на прочность при изгибе?

10. Сформулируйте формулу Журавского;
11. Какие три вида балок следует проверять по касательным напряжениям?
12. Сформулируйте формулу Мора и правило Верещагина для определения угловых и линейных перемещений;

Вопросы для самоконтроля к теме 2.6.

1. Какой вид деформации называется кручением?
2. Какие моменты называют вращающими? Скручивающими?
3. Что называется полным и относительным углом закручивания?
4. Чему равен крутящий момент в сечении бруса?
5. Что можно определить по эпюре крутящих моментов?
6. Сформулируйте условие прочности бруса при кручении;
7. Как определить угол закручивания?
8. Сформулируйте три вида расчетов конструкций на прочность и жесткость при кручении;

Вопросы для самоконтроля к теме 2.7.

1. Какой изгиб называется косым изгибом?
2. Выведите формулу для определения нормальных напряжений при косом изгибе;
3. Чему равен прогиб балки при косом изгибе?
4. Как определить направление прогиба при косом изгибе балки?
5. В каких случаях возникает внецентренное сжатие?
6. Чему равны нормальные напряжения при внецентренном сжатии?

Вопросы для самоконтроля к теме 2.8 .

1. Какие нагрузки называют критическими?
2. Дайте понятия «устойчивая», «неустойчивая» формы равновесия?
3. Что называют критической силой?
4. Какой изгиб называется продольным изгибом?
5. Что характеризует коэффициент запаса устойчивости?
6. В каких случаях применима для определения критической силы формула Эйлера?
7. Сформулируйте формулу Эйлера;
8. Что называется гибкостью стержня?
9. В каких случаях применяют формулу Ясинского?
10. Раскройте сущность проверочного расчета на устойчивость;
11. Какие существуют виды расчетов на устойчивость?

Вопросы для самоконтроля к теме 3.1.

1. Что называют статикой сооружений?
2. По каким признакам классифицируют сооружения?
3. Что подразумевается под стержневыми сооружениями?
4. Что называется распором? Какие сооружения называются распорными?
5. Как отличаются плоские и пространственные сооружения?

Вопросы для самоконтроля к теме 3.2.

1. Какая система называется геометрически неизменяемой?
2. Что является характерной особенностью геометрически изменяемой системы?
3. Что называется степенью свободы системы?
4. Перечислите и охарактеризуйте три основных вида связей, применяемых при образовании неизменяемых плоских систем;
5. Какими формулами выражаются необходимые условия геометрической неизменяемости?
6. Какая система называется мгновенно изменяемой?
7. Дать определение «статически определимая» и «статически неопределимая» системы;
8. Что называется степенью статической неопределимости системы?

Вопросы для самоконтроля к теме 3.3 .

- 1.Какая система называется шарнирной балкой?
- 2.Какие преимущества в сравнении с простыми балками имеют шарнирные балки?
- 3.Сформулировать правила размещения промежуточных шарниров в шарнирных балках;
- 4.Что представляют собой поэтажные схемы шарнирных балок?
- 5.Перечислить типы шарнирных балок;
- 6.Сформулировать правила определения поперечной силы и изгибающего момента в сечениях шарнирной балки;
- 7.Сформулировать правила построения эпюр внутренних усилий;

Вопросы для самоконтроля к теме 3.4 .

- 1.Что называют рамами? Из каких элементов состоят рамы?
- 2.Как определяется степень статической неопределимости рамной системы?
- 3.Сформулировать правила определения внутренних усилий в сечениях элементов рамы;
- 4.Сформулировать правила знаков при построении эпюр продольных и поперечных сил, изгибающих моментов;
- 5.Сформулировать правила, определяющие численные значения продольных, поперечных сил, изгибающих моментов;
- 6.Как проверить правильность построения эпюр?

Вопросы для самоконтроля к теме 3.5.

- 1.Какая система называется трехшарнирной аркой?
- 2.Дать определение: ось арки; пята арки; замок арки; стрела подъема; пролет арки.
- 3.При каком расположении опор арка называется ползучей?
- 4.Как определяют опорные реакции арок?
- 5.Выведите формулы для определения внутренних усилий в сечениях арки;
- 6.Что представляет собой трехшарнирная арка с затяжкой?

Вопросы для самоконтроля к теме 3.6.

- 1.Какая система называется фермой?
- 2.Дать определение: узел фермы; пролет фермы; верхний пояс; нижний пояс; решетка фермы; стойка фермы; раскос; длина панели.
- 3.По каким признакам классифицируют фермы?
4. Дать классификацию ферм;
- 5.Выразить необходимое условие геометрической неизменяемости ферм;
- 6.Как определить реакции опор фермы?
- 7.Какими способами можно определить усилия в стержнях ферм?
- 8.На чем основан графический способ определения усилий в стержнях ферм?

Вопросы для самоконтроля к теме 3.7.

- 1.Какая работа называется действительной? возможной?
- 2.Какая существует зависимость между работой внешних и внутренних сил?
- 3.Вывести формулу Мора для определения перемещений;
- 4.Каков порядок вычисления перемещений системы по формуле Мора?
- 5.В чем сущность правила А.Н.Верещагина и формулы Карнаухова к вычислению интегралов Мора?
- 6.Вывести формулу для определения перемещений с использованием правила Верещагина;
- 7.Укажите особенности применения к вычислению интегралов Мора?

Вопросы для самоконтроля к теме 3.8.

- 1.Какие системы называются статически неопределимыми?
- 2.Охарактеризовать основные свойства статически неопределимых систем;
- 3.Как определить степень статической неопределимости?
- 4.Какая система называется основной системой метода сил?
- 5.Что называют каноническими уравнениями метода сил?
- 6.Привести последовательность расчета статически неопределимых систем методом сил;
- 7.Привести примеры наиболее характерных статически неопределимых систем.

Вопросы для самоконтроля к теме 3.9.

- 1.Какая балка называется неразрезной?
- 2.Как классифицируют неразрезные балки по числу пролетов?
- 3.По какой формуле определяется степень статической неопределимости неразрезных балок?
- 4.Как при помощи уравнений трех моментов определить опорные моменты?
- 5.Последовательность расчета неразрезных балок;
- 6.Как проверить правильность расчета?
- 7.Закономерности, определяющие невыгодные нагружения неразрезной балки;

Вопросы для самоконтроля к теме 3.10.

- 1.Какие сооружения называют подпорными стенами?
- 2.Что называется сыпучим телом?
- 3.Где применяются подпорные стены?
- 4.Дать классификацию подпорных стен;
- 5.Как определяется активное давление сыпучего тела на подпорную стену?
- 6.Что называют активным давлением грунта?
- 7.Что называют поверхностью обрушения?
- 8.Как определяется пассивное давление грунта?
- 9.Что называется пассивным давлением грунта?
- 10.Что является целью расчета подпорной стены?

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ**

Для того, чтобы практические задания приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнения и решение ситуативных задач проводится по вычитанному на лекции материалу и связаны, как правило, с детальной разработкой отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекции) он будет закрепляться на практическом занятии как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения ситуативных задач. При этих условиях студенты не только хорошо усвоят материал, но и научатся применять его на практике, а также получат дополнительный стимул для активной проработке лекции.

При самостоятельном решении поставленных задач нужно обосновать каждый этап действия, исходя из теоретического положения курса. Если обучающийся видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно решение задачи излагать подробно, сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие и по возможности с выводами. Полученный результат следует проверить способами, вытекающими из сущности данной задачи.

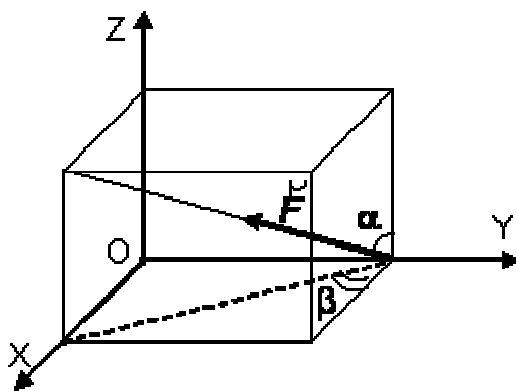
### **Задание к теме 1.2.**

#### **Построение проекции силы на оси координат.**

Во всех представленных ниже заданиях требуется определить проекцию силы  $F$  на ось  $Y$ . К каждому заданию приведены 4 ответа, один из которых является правильным. Выберите правильный ответ



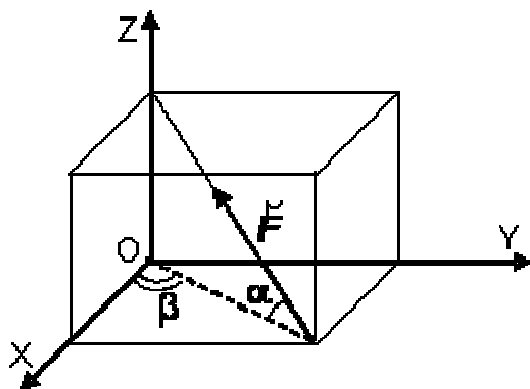
Задача 1



Ответы:

1.  $F_y = F \sin \alpha \sin \beta$
2.  $F_y = 0$
3.  $F_y = -F \sin \alpha \sin \beta$
4.  $F_y = F \cos \alpha \cos \beta$

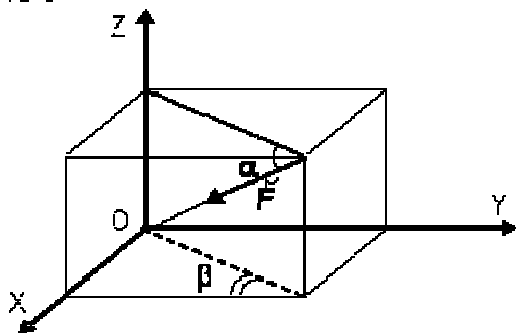
Задача 2



Ответы:

1.  $F_y = 0$
2.  $F_y = F \cos \alpha \cos \beta$
3.  $F_y = -F \sin \alpha \cos \beta$
4.  $F_y = -F \cos \alpha \sin \beta$

Задача 3



Ответы:

1.  $F_y = 0$
2.  $F_y = -F \cos \alpha \cos \beta$
3.  $F_y = F \sin \alpha \cos \beta$
4.  $F_y = F \cos \alpha \cos \beta$

Пример выполнения:

На шар, вес которого  $P$ , лежащий на горизонтальной плоскости и привязанный к ней нитью  $AB$ , действует сила  $F$  (рис.). Определим реакции связей.

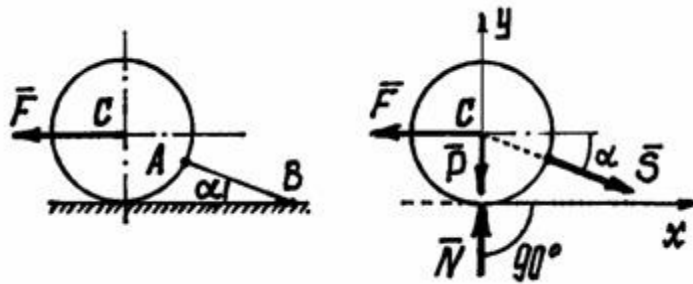


Рис.

Следует сразу заметить, что все задачи статики решаются по одной схеме, в определённом порядке.

Продемонстрируем ее на примере решения этой задачи.

1. Надо выбрать (назначить) объект равновесия – тело, равновесие которого следует рассмотреть, чтобы найти неизвестные.

В этой задаче, конечно, объект равновесия – шар.

2. Построение расчётной схемы. Расчётная схема – это объект равновесия, изображённый отдельно, свободным телом, без связей, со всеми силами, действующими на него: реакциями и остальными силами.

Показываем реакцию нити  $\vec{S}$  и нормальную реакцию плоскости –  $\vec{N}$  (рис.). Кроме них на шар действуют заданные силы  $\vec{F}$  и  $\vec{P}$ .

3. Надо установить какая получилась система сил и составить соответствующие уравнения равновесия.

Здесь получилась система сходящихся сил, расположенных в плоскости, для которой составляем два уравнения (оси можно проводить произвольно):

$$\begin{aligned} \sum X_i = 0; & -F + S \cos \alpha = 0, \\ \sum Y_i = 0; & -P + N - S \sin \alpha = 0. \end{aligned}$$

4. Решаем систему уравнений и находим неизвестные.

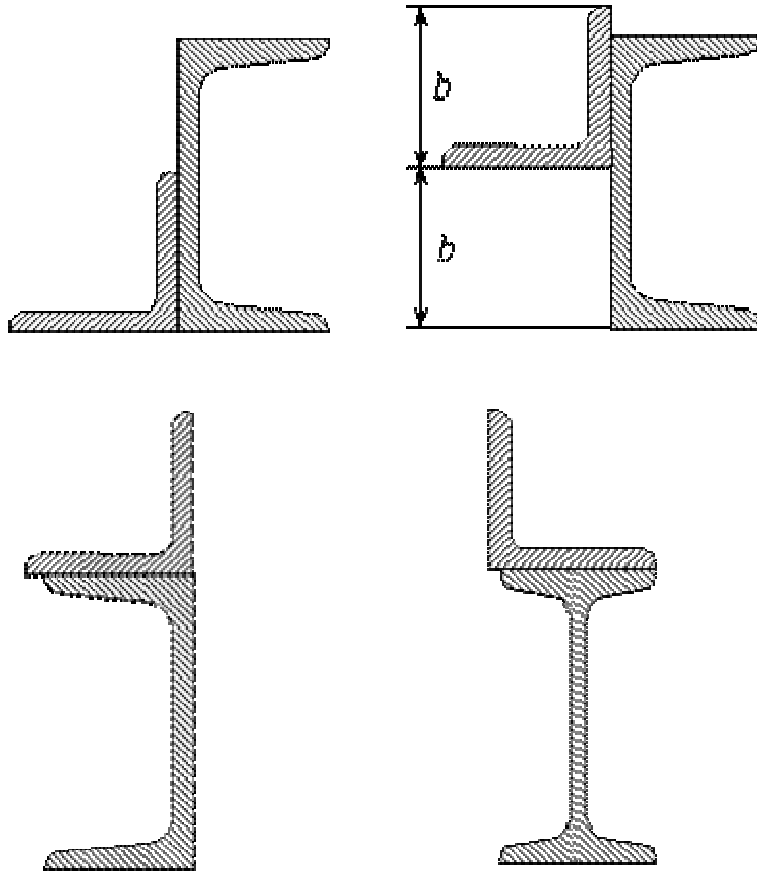
$$S = \frac{F}{\cos \alpha}, \quad N = S \sin \alpha + P = F \operatorname{tg} \alpha + P.$$

По условию задачи требовалось найти давление шара на плоскость. А мы нашли реакцию плоскости на шар. Но, по определению следует, что эти силы равны по величине, только давление на плоскость будет направлено в противоположную сторону, вниз.

### Задание к теме 1.6..

**Определение положения центра тяжести сечения, составленного из профиля прокатной стали.**

Швеллер № 16; Уголок №125x104 Двутавр № 36



Пример выполнения:

1. Разбиваем сечение на три части: I – полоса, II – двутавр и III – швеллер.
2. Находим площади каждой части, выражая их в  $\text{см}^2$ . Площадь полосы определяем путем перемножения двух данных размеров, а площади двутавра и швеллера – по таблицам из ГОСТа.

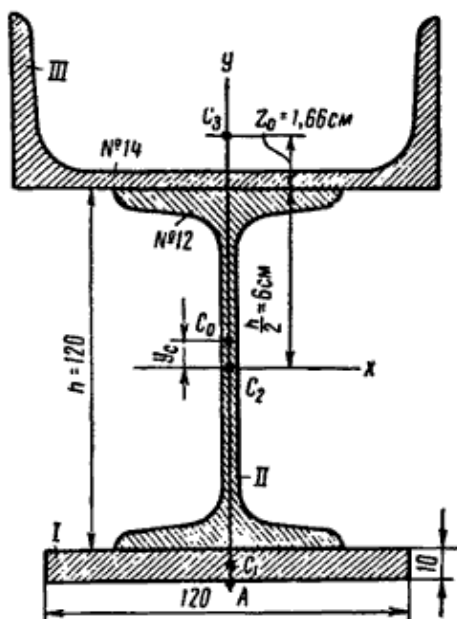


Рис. 187

Площадь сечения полосы

$$F_1 = 12 * 1 = 12 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения двутавра № 12

$$F_2 = 14,7 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения швеллера № 14

$$F_3 = 15,7 \text{ см}^2.$$

3. Данное сечение имеет вертикальную ось симметрии. Совместим с этой осью ось  $y$ , а ось  $x$  проведем через середину двутавра через точку  $C_2$  – центр тяжести его сечения. Центр тяжести сечения полосы  $C_1$  расположен ниже точки  $C_2$ , принятой в данном случае за начало координат, на расстоянии  $y_1 = -(h/2 + 0,5) = -6,5$  см.

Центр тяжести швеллера  $C_3$  находим при помощи тех же таблиц из ГОС-Та. Положение центра тяжести швеллеров в таблицах обозначено одной координатой  $z_0$ ; для швеллера № 14  $z_0 = 1,66$  см, следовательно,

$$y_3 = h/2 + z_0 = 7,66 \text{ см.}$$

Таким образом,

$$F_1 = 12 \text{ см}^2; C_1(0; -6,5);$$

$$F_2 = 14,7 \text{ см}^2; C_2(0; 0);$$

$$F_3 = 15,7 \text{ см}^2; C_3(0; 7,66).$$

4. Подставляем эти значения в расчетную формулу для ординаты  $y_c$ :

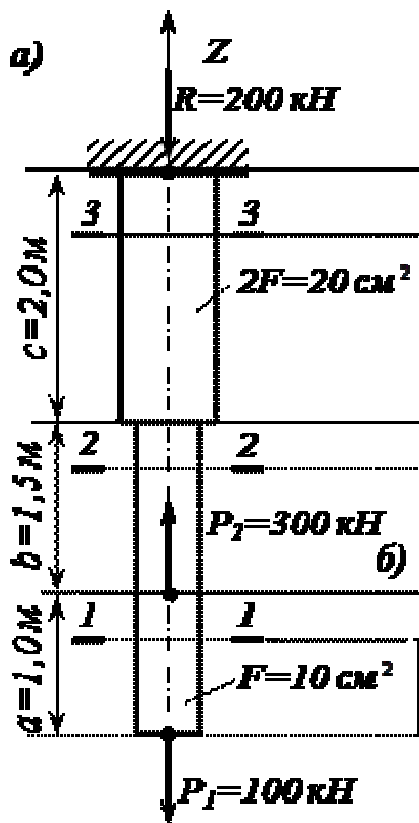
$$y_c = (-12*6,5 + 14,7*0 + 15,7*7,66) / (12 + 14,7 + 15,7) = 42,3 / 42,4 = 1,0 \text{ см.}$$

В выбранных осях положения центра тяжести сечения выражены координатами  $C_0(0; 1)$ .

Это значит, что центр тяжести сечения находится от его нижнего края (от точки А) на расстоянии  $AC_0 = 8$  см.

## **Задание к теме 2.2**

**Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений.**



Стальной стержень (модуль Юнга  $E = 2 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>) с размерами  $a = 200$  см;  $b = 150$  см,  $c = 100$  см и площадью поперечного сечения нижнего участка  $F_n = F = 10$  см<sup>2</sup>, а верхнего –  $F_v = 2F = 20$  см<sup>2</sup> нагружен внешними осевыми силами  $P_1 = 100$  кН и  $P_2 = 300$  кН. Построить эпюры продольных сил  $N$  и нормальных напряжений  $\sigma_z$

Пример выполнения:

1. Определение опорной реакции. Составляем уравнение равновесия в проекции на ось  $z$ :

$$\sum Z_i = 0, \quad -2qa + 2q \cdot 2a - qa + qa - R_E = 0,$$

откуда  $R_E = 2qa$ .

2. Построение эпюр  $N_z$ ,  $\sigma_z$ ,  $W$ .

Эпюра  $N_z$ . Она строится по формуле

$$N_z = N_0 \pm qz.$$

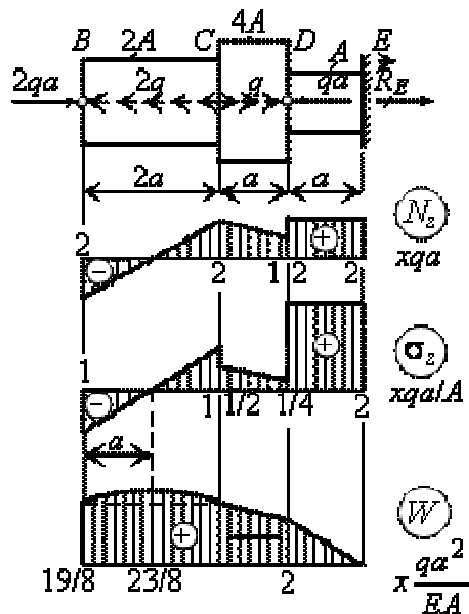
Имеем

$$N_B = -2qa,$$

$$N_C = N_B + 2q \cdot 2a = 2qa$$

$$N_{DC} = N_C - qa = qa,$$

$$N_{DE} = N_{DC} + qa = 2qa.$$



Эпюра  $\sigma_x$ . Напряжение равно  $\sigma_x = N_x/A(z)$ . Как следует из этой формулы, скачки на эпюре  $\sigma_x$  будут обусловлены не только скачками  $N_x$ , но также резкими изменениями площади поперечных сечений. Определяем значения  $\sigma_x$  в характерных точках:

$$\sigma_B = \frac{N_B}{2A} = \frac{-2qa}{2A} = -\frac{qa}{A},$$

$$\sigma_{CB} = \frac{N_C}{2A} = \frac{2qa}{2A} = \frac{qa}{A},$$

$$\sigma_{CD} = \frac{N_C}{4A} = \frac{2qa}{4A} = \frac{qa}{2A},$$

$$\sigma_{DC} = \frac{N_{DC}}{4A} = \frac{qa}{4A},$$

$$\sigma_{DE} = \frac{N_{DE}}{A} = \frac{2qa}{A} \text{ и строим эпюру } \sigma_x.$$

Эпюра  $W$ . Она строится по формуле

$$W = W_o + \frac{1}{E} \int_o^x \sigma_x dz = W_o + \alpha_\sigma l E$$

Построение ведем от защемления к свободному концу. Находим перемещения в характерных сечениях:

$$W_o = W_E = 0,$$

$$W_D = W_0 + \frac{\omega_\sigma}{E} = \left( \frac{2qa}{EA} \right) \cdot a = \frac{2qa^2}{EA},$$

$$W_C = W_D + \frac{\omega_\sigma}{E} = \frac{2qa^2}{EA} + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right) \cdot \left( \frac{qa}{EA} \right) \cdot a = \frac{19qa^2}{8EA},$$

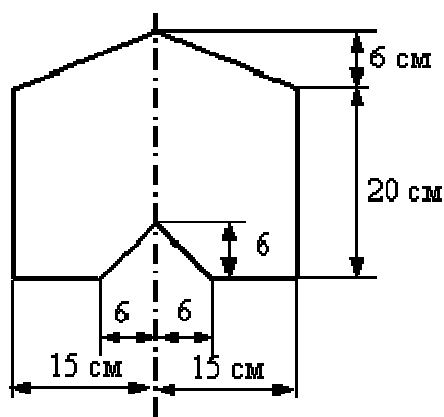
$$W_{\max} = W_C + \frac{\omega_\sigma}{E} = \frac{19qa^2}{8EA} + \left( \frac{qa}{2EA} \right) \cdot a = \frac{23qa^2}{8EA},$$

$$W_B = W_C + \frac{\omega_\sigma}{E} = W_C = \frac{19qa^2}{8EA},$$

и строим эпюру  $W$ .

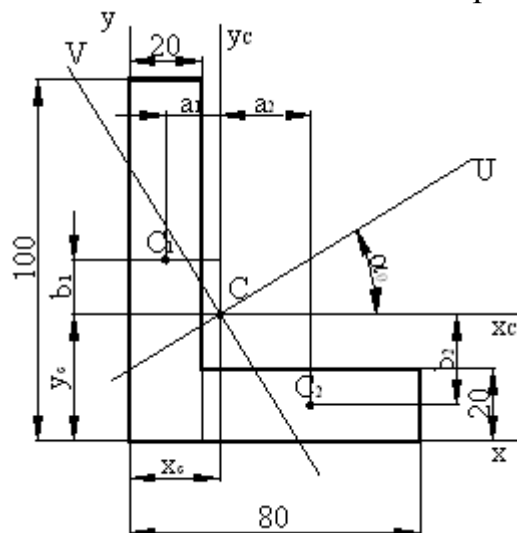
#### Задание к теме 2.4.

Определение основных геометрических характеристик плоских фигур.



Пример выполнения:

Для фигуры, показанной на рисунке определить главные моменты инерции и положение главных осей инерции.



Решение.

Разбиваем сложное сечение на простейшие геометрические фигуры  
 $S_1 = 2000 \text{ мм}^2$ ,  $S_2 = 1200 \text{ мм}^2$ ,  $S = 3200 \text{ мм}^2$ .

Выбираем произвольные оси  $XOY$ .

Определяем положение центра тяжести сечения

Определяем статические моменты площади

$$S_x = \sum S_i x_i = S_1 x_1 + S_2 x_2 = 2000 \cdot 50 + 1200 \cdot 10 = 11,2 \cdot 10^4 \text{ мм}^3$$

$$S_y = \sum S_i y_i = S_1 y_1 + S_2 y_2 = 2000 \cdot 10 + 1200 \cdot 50 = 8 \cdot 10^4 \text{ мм}^3$$

Находим координаты центра тяжести

$$x_c = \frac{S_y}{S} = \frac{8 \cdot 10^4}{3200} = 25 \text{ мм};$$

$$y_c = \frac{S_x}{S} = \frac{11,2 \cdot 10^4}{3200} = 35 \text{ мм}.$$

Проводим центральные оси  $X_c O Y_c$

$$a_1 = 10 - x_c = 10 - 25 = -15 \text{ мм},$$

$$a_2 = 50 - x_c = 50 - 25 = 25 \text{ мм},$$

$$b_1 = 50 - y_c = 50 - 35 = 15 \text{ мм},$$

$$b_2 = 10 - y_c = 10 - 35 = -25 \text{ мм}.$$

Вычисляем моменты инерции  $I_{x_c}, I_{y_c}$

$$I_{x_c} = I_{x_c}^1 + I_{x_c}^2 = \frac{b_1 h_1^3}{12} + S_1 b_1^2 + \frac{b_2 h_2^3}{12} + S_2 b_2^2 = \frac{20 \cdot 100^3}{12} + 2000 \cdot 15^2 + \frac{60 \cdot 20^3}{12} +$$

$$+ 1200 \cdot (-15)^2 = 290,4 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$$

$$I_{y_c} = I_{y_c}^1 + I_{y_c}^2 = \frac{b_1^3 h_1}{12} + S_1 a_1^2 + \frac{b_2^3 h_2}{12} + S_2 a_2^2 = \frac{100 \cdot 20^3}{12} + 2000 \cdot (-15)^2 + \frac{20 \cdot 60^3}{12} +$$

$$+ 1200 \cdot 25^2 = 162,6 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$$

б) Вычисляем центробежный момент инерции  $I_{x_c y_c}$

$$I_{x_c y_c} = I_{x_c y_c}^1 + I_{x_c y_c}^2 = I_{x_c y_c}^0 + S_1 a_1 b_1 + I_{x_c y_c}^0 + S_2 a_2 b_2 = 2000 \cdot (-15) \cdot 25 + 1200 \cdot 25 \cdot (-25) = -120 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$$

Определяем положение главных осей инерции

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{2I_{x_c y_c}}{I_{x_c} - I_{y_c}} = -\frac{2(-120 \cdot 10^4)}{290,4 \cdot 10^4 - 162,6 \cdot 10^4} = 1,87$$

$$2\alpha_0 = 61^\circ \Rightarrow \alpha_0 = 31,5^\circ$$



Если  $I_x > I_y$  и  $\alpha_0 > 0$ , то угол  $\alpha_0$  откладывается от оси  $X_c$  против часовой стрелки.

7) Вычисляем главные моменты инерции  $I_{max}, I_{min}$

$$I_{max} = \frac{I_{x_0} + I_{y_0}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(I_{x_0} - I_{y_0})^2 + 4I_{x_0 y_0}^2} = \frac{290,4 \cdot 10^4 + 162,6 \cdot 10^4}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(290,4 \cdot 10^4 - 162,6 \cdot 10^4)^2 + 4(-120 \cdot 10^4)^2} = 362,4 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$$

$$I_{min} = \frac{I_{x_0} + I_{y_0}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(I_{x_0} - I_{y_0})^2 + 4I_{x_0 y_0}^2} = \frac{290,4 \cdot 10^4 + 162,6 \cdot 10^4}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(290,4 \cdot 10^4 - 162,6 \cdot 10^4)^2 + 4(-120 \cdot 10^4)^2} = 90,6 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$$

### Задание к теме 2.7.

#### Определение максимальных изгибающих моментов при косом изгибе.

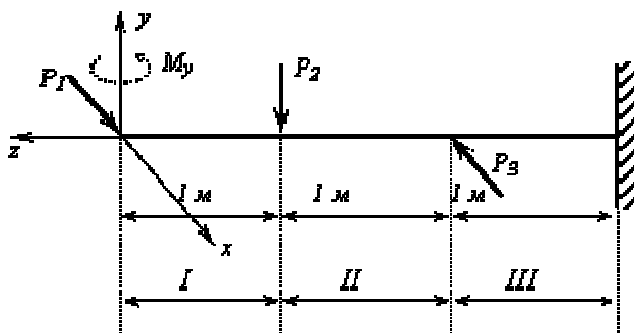
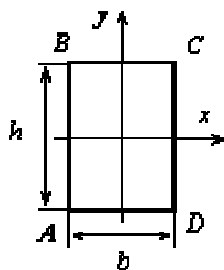
Для балки с постоянным прямоугольным поперечным сечением требуется:

- 1) Построить эпюры изгибающих моментов  $M_x$  и  $M_y$ .
- 2) Проверить балку на прочность по нормальным напряжениям в самых опасных точках заделки.

Дано допускаемое значение нормального напряжения:  $[\sigma] = 835 \text{ МПа}$ .

Значения сосредоточенных сил:  $P_1 = 3 \text{ кН}$ ;  $P_2 = 10 \text{ кН}$ ;  $P_3 = 6 \text{ кН}$ . Размеры сечения:  $b = 6 \text{ см} = 0,06 \text{ м}$ ;  $h = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$ .

Линейные размеры приведены на схеме.



Пример выполнения:

Подобрать прямоугольное сечение балки (рис.) при условии, что  $h = 2b$ ,  $[\sigma] = 160$  МПа,  $P = 60$  кН,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $l = 2.8$  м.

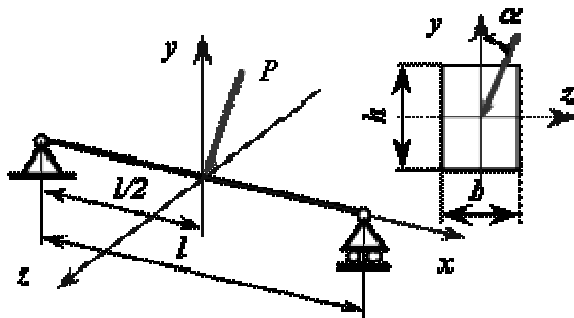


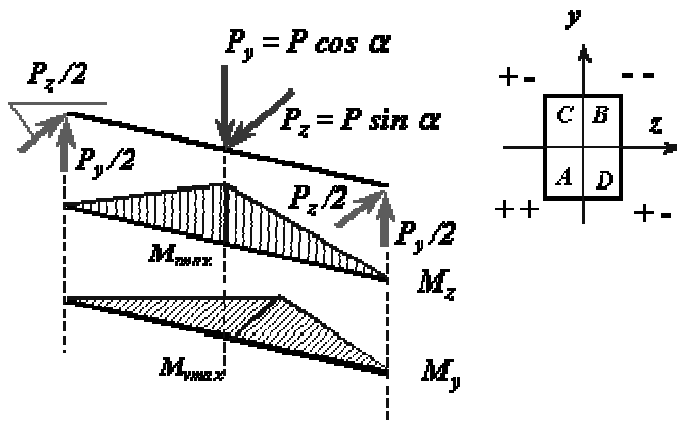
Рис.

Решение:

Разложив силу  $P$  на две составляющие, действующие по направлению главных осей поперечного сечения балки, определяем опорные реакции и строим эпюры изгибающих моментов  $M_z$  и  $M_y$  (рис.). Наибольшие моменты действуют в среднем сечении, где

$$M_{z_{max}} = \frac{Pl}{4} \cos \alpha, \quad M_{y_{max}} = \frac{Pl}{4} \sin \alpha,$$

следовательно, это сечение является опасным.



Эпюры изгибающих моментов к примеру

Для определения положения опасной точки расставим знаки от  $\sigma(M_z)$  и  $\sigma(M_y)$  в угловых точках поперечного сечения балки (рис.). При действии момента  $M_z$  в точках  $A$  и  $D$  будут иметь место положительные (растягивающие) напряжения, а в точках  $C$  и  $B$  - отрицательные (сжимающие) напряжения. При действии момента  $M_y$  в точках  $A$  и  $C$  будут иметь место положительные  $\sigma$ , а в точках  $B$  и  $D$  - отрицательные. Точки поперечного сечения  $A$  и  $B$ , в которых

действуют нормальные напряжения одного знака, являются опасными; для них и должны составляться условия прочности.

Судя по условию задачи, материал, из которого изготовлена балка, является пластичным ( $[\sigma]=160$  МПа) и, следовательно, одинаково сопротивляется деформации растяжения и деформации сжатия. Таким образом, точки *A* и *B* являются равноопасными, и для них используется одно условие прочности

$$\sigma_{расч} = \sigma_{max} = \frac{M_{x_{max}}}{W_x} + \frac{M_{y_{max}}}{W_y} \leq [\sigma]$$

Вычислим моменты сопротивления сечения при заданном соотношении высоты и ширины

$$W_x = \frac{b(2b)^2}{6} = \frac{2}{3}b^3, \quad W_y = \frac{2bb^2}{6} = \frac{1}{3}b^3$$

Подставляя в условие прочности выражения для изгибающих моментов и моментов сопротивления, получим:

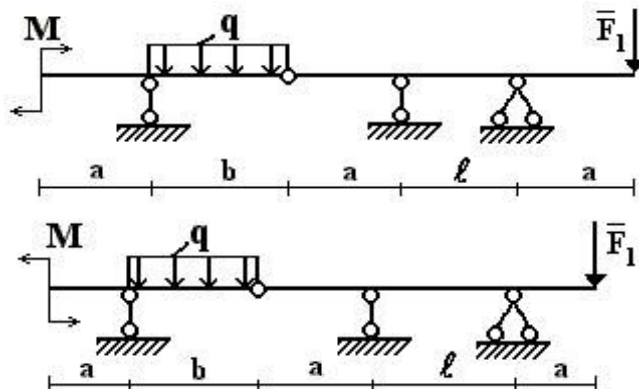
$$b \geq \sqrt{\frac{3Pl(0.5\cos\alpha + \sin\alpha)}{4[\sigma]}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 2.8 \cdot (0.5 \cdot 0.866 + 0.5)}{4 \cdot 160 \cdot 10^6}} = 0.0902 \text{ м}$$

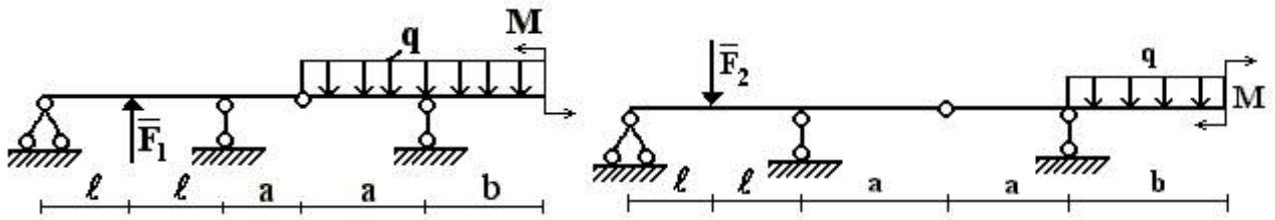
тогда  $h=2b=18,04$  см.

### Задание к теме 3.3

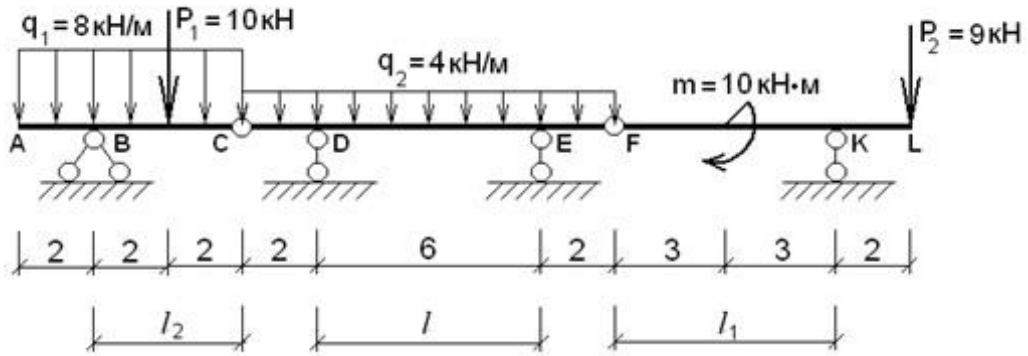
**Построение схем взаимодействия многопролетных статически определимых балок.**

$M=10$ кНхм;  $q=4$ кН/м;  $F=12$ кН;  $a=2$ м;  $b=3$ м;  $l=4$ м.

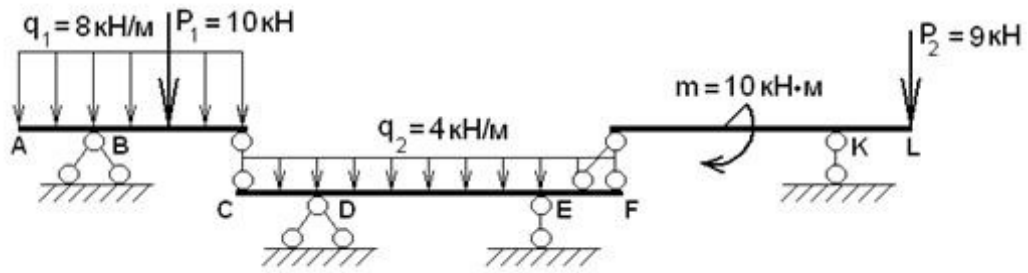




Пример выполнения:



а

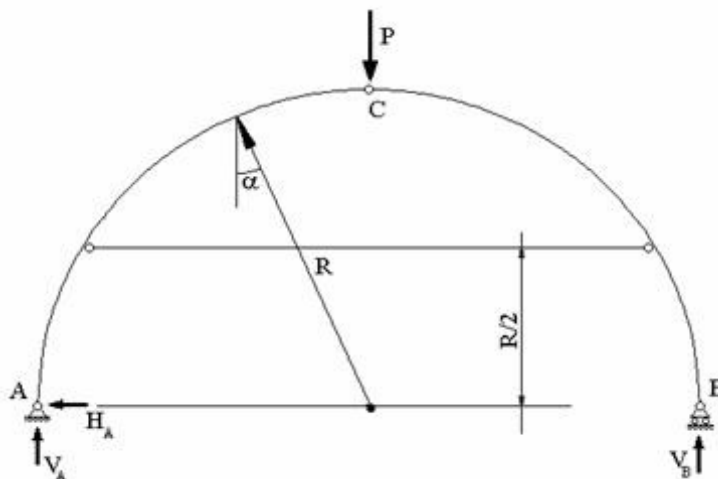


б

### Задание к теме 3.3

Определение внутренних усилий в произвольном сечении арки.

$F=80\text{кН}$ ;  $L=20\text{м.}$ ;  $R=40\text{м.}$



Пример выполнения:

Рассмотрим арку параболического очертания, изображенную на рис.5.8.

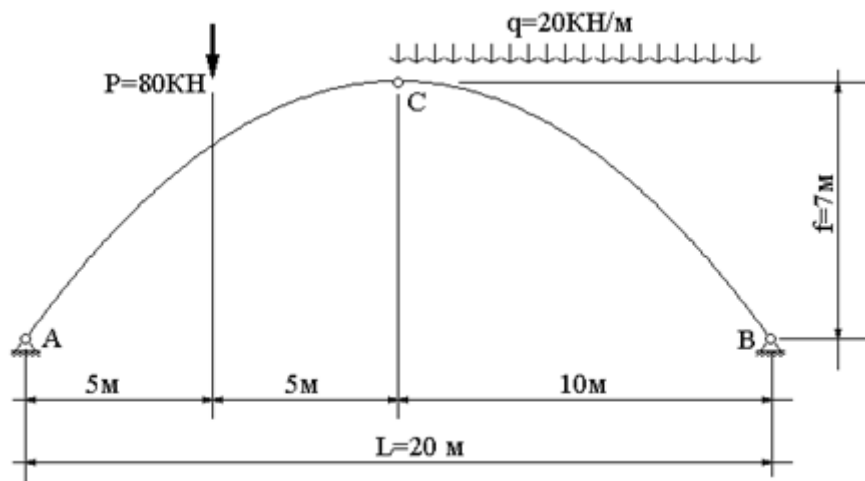


Рис.5.8

Определим опорные реакции в арке, для чего запишем систему статических уравнений (5.3)-(5.6):

$$\begin{aligned} \sum F_V &= P + q \cdot \frac{L}{2} - V_A - V_B = 0; \\ \sum M_A &= P \cdot \frac{L}{4} + q \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{3 \cdot L}{4} - V_B \cdot L = 0; \\ \sum F_H &= H_A + H_B = 0; \\ \sum M_C^{свеса} &= H_A \cdot f - V_A \cdot \frac{L}{2} + P \cdot \frac{L}{4} = 0. \end{aligned}$$

Из второго уравнения находим:

$$V_B = \frac{P}{4} + \frac{3 \cdot q \cdot L}{8} = \frac{80 \text{ кН}}{4} + \frac{3 \cdot 20 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \cdot 20 \text{ м}}{8} = 170 \text{ кН}$$

Далее, из первого уравнения найдем

$$V_A = P + q \cdot \frac{L}{2} - V_B = 80 \text{ кН} + 20 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \cdot 10 \text{ м} - 170 \text{ кН} = 110 \text{ кН}$$

И, наконец, найдем распор

$$H = H_A = -H_B = \frac{1}{f} \cdot \left( V_A \cdot \frac{L}{2} - P \cdot \frac{L}{4} \right) = \frac{1}{7 \text{ м}} \cdot (110 \text{ кН} \cdot 10 \text{ м} - 80 \text{ кН} \cdot 5 \text{ м}) = 100 \text{ кН}$$

Для проверки правильности найденных опорных реакций составим, например, уравнение моментов сил, действующих справа от промежуточного шарнира, относительно этого шарнира:

$$\sum M_C^{опора} = V_B \cdot \frac{L}{2} + H_B \cdot f - q \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4} = V_B \cdot \frac{L}{2} - H \cdot f - q \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4} =$$

$$= 170 \text{ кН} \cdot 10 \text{ м} - 100 \text{ кН} \cdot 7 \text{ м} - 20 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \cdot 10 \text{ м} \cdot 5 \text{ м} = 0$$

Таким образом, опорные реакции определены, приступаем к построению эпюры изгибающего момента, для чего используем формулу (5.8). Все расчеты сведем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

$x, \text{ м}$	$M^{BH}(x), \text{ кНм}$	$y(x), \text{ м}$ $y(x) = \frac{4 \cdot f \cdot x \cdot (L - x)}{L^2}$	$M^{оп}(x), \text{ кНм}$ $M^{оп}(x) = V_A \cdot x + M^{BH} + H_A \cdot y(x)$
0	0	0	0
2,5	0	3,0625	-31,25
5	0	5,25	25
7,5	-200	6,5625	-31,25
10	-400	7	0
12,5	-662,5	6,5625	56,25
15	-1050	5,25	75
17,5	-1562,5	3,0625	56,25
20	-2200	0	0

Покажем, как определяется  $M^{BH}(x)$ , например, в сечении с координатой  $x=15\text{ м}$ . Рассматривая часть арки слева от сечения (рис.5.9), видим, что изгибающий момент от действия внешних нагрузок складывается из моментов от действия силы  $P$  с плечом 10 м и действующей на длине 5 м распределенной нагрузки  $q$ , равнодействующая которой создает в рассматриваемом сечении момент с плечом 2,5 м. Оба момента создают растяжение верхних волокон арки в рассматриваемом сечении, поэтому имеют знак “минус”.

Итак,  $M^{BH}(15) = -P \cdot 10 \text{ м} - q \cdot 5 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ м} = -800 \text{ кНм} - 250 \text{ кНм} = -1050 \text{ кНм}$ .

После определения изгибающих моментов от внешней нагрузки в выбранных сечениях (заполнения столбца 2), приступаем к определению в этих же сечениях значений  $y(x)$  (столбец 3) и изгибающих моментов в арке (столбец 4). Если во всех сечениях моменты определяются из рассмотрения равновесия части арки с одной и той же стороны от сечения (в нашем случае - с левой стороны), последние две операции для всех сечений выполняются по однотипным формулам. Следовательно, эти вычисления легко автоматизировать, например, с помощью табличных процессоров. Если в замке или в опоре арки изгибающий момент в результате расчета окажется отличным от нуля, то это будет говорить о допущенной ошибке.

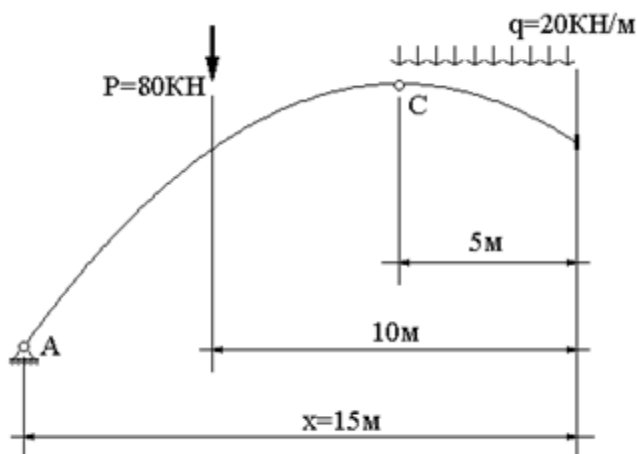


Рис.5.9

Эпюра изгибающего момента в арке приводится на рис.5.10.

Построим теперь эпюры продольного и перерезывающего усилий, для чего воспользуемся формулами (5.10) и (5.11). Поскольку горизонтальная составляющая нагрузки отсутствует,  $\sum F_H^{свобод}(x) = -H$  при любом  $x$ . Результаты расчетов сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2.

$x, \text{ м}$	$\sum F_H^{свобод}(x), \text{ кН}$	$\alpha, \text{ радианы}$ $\alpha = \text{arctg}\left(\frac{4f}{L^2} \cdot (L - 2 \cdot x)\right)$	$Q^{арк}(x), \text{ кН}$ $\sum F_V^{свобод} \cdot \cos \alpha - H \cdot \sin \alpha$	$N^{арк}(x), \text{ кН}$ $-\sum F_V^{свобод} \cdot \sin \alpha - H \cdot \cos \alpha$
0	110	0,950547	-17,437	-147,635
2,5	110	0,809784	3,448	-148,621
5-0	110	0,610726	32,769	-145,004
5+0	30	0,610726	-32,769	-99,127
7,5	30	0,336675	-4,719	-104,296
10	30	0	30	-100
12,5	-20	-0,336675	14,158	-100,993
15	-70	-0,610726	0	-122,066
17,5	-120	-0,809784	-10,345	-155,862
20	-170	-0,950547	-17,437	-196,459

Эпюры перерезывающего и продольных усилий в арке приведены на рис.5.11 и рис.5.12.

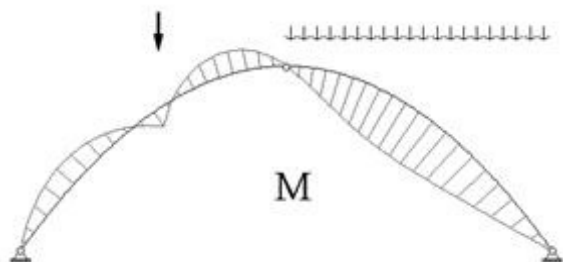


Рис.5.10

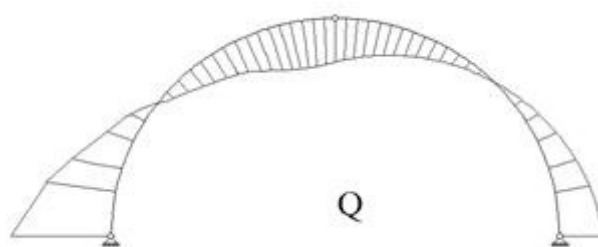


Рис.5.11

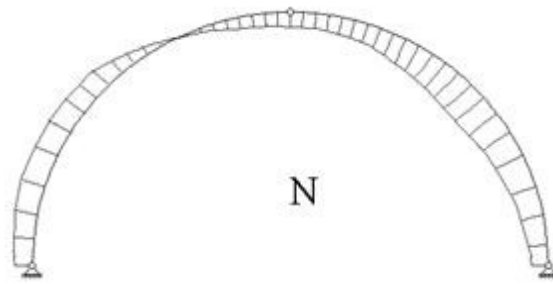


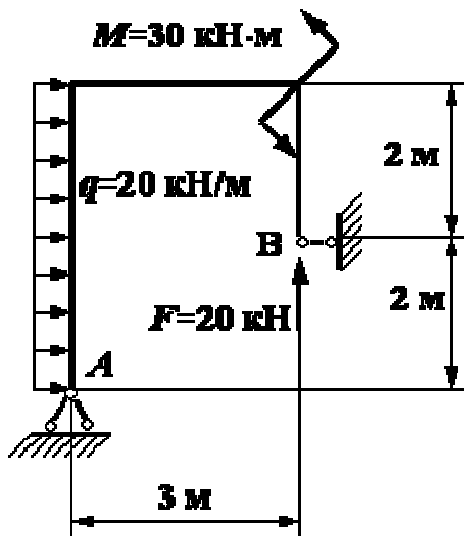
Рис.5.12

Обратите внимание, что на оси арки продольное усилие равно распору, а перерезывающее - перерезывающему усилие в соответствующей ей балке.

**Задание к теме 3.7.**

**Определение перемещений в плоских рамных конструкциях.**

Для рамы, показанной на рис., найти вертикальное перемещение точки *B*. Жесткость стержней рамы будем считать одинаковой ( $EI = \text{const}$ ). Перемещения ищем методом Максвелла – Мора, интегрируя формулу Максвелла – Мора аналитически и графически (с помощью правила Верещагина).



Пример выполнения:

Определить горизонтальное и вертикальное перемещения точки *A* в раме (рис. а)

Решение.

Для решения задачи необходимо рассмотреть три состояния рамы: грузовое и два единичных. Эпюра моментов  $M_F$ , соответствующая первому состоянию, представлена на рис. б. Для вычисления горизонтального перемещения прикладываем в точке *A* по направлению искомого перемещения (т.е. горизонтально) силу  $\bar{F} = 1$ , а для вычисления вертикального перемещения силу  $\bar{F} = 1$

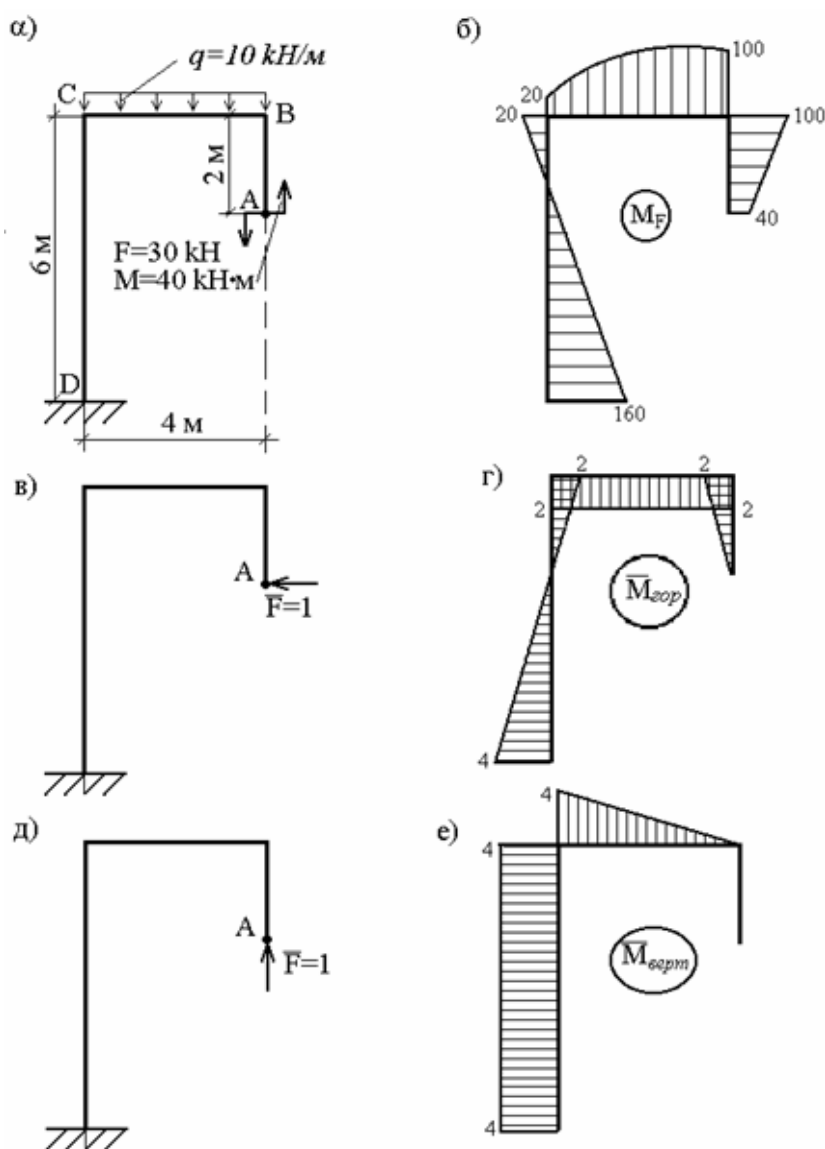


прикладываем вертикально (рис. в,д). Соответствующие эпюры  $\bar{M}_{гор}$  и  $\bar{M}_{верт}$  показаны на рис. г,е.

Горизонтальное перемещение точки  $A$ :

$$\begin{aligned} \Delta_{гор} &= \frac{M_F \bar{M}_{гор}}{EI_x} = \\ &= \frac{1}{EI_x} \left[ -\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2 \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot 60 + 40 \right) - \frac{2}{3} \cdot 80 \cdot 4 \cdot 2 - 20 \cdot 4 \cdot 2 + \frac{6}{6} (-2 \cdot 2 \cdot 20 - 2 \cdot 4 \cdot 160 + 20 \cdot 4 + 2 \cdot 160) \right] = \\ &= -\frac{1706,67}{EI_x}. \end{aligned}$$

При вычислении  $\Delta_{гор}$  на участке  $AB$  трапеция (эпюра  $M_F$ ) разбита на треугольник и прямоугольник, после чего треугольник с эпюры  $\bar{M}_{гор}$  "умножен" на каждую из этих фигур. На участке  $BC$  криволинейная трапеция разделена на криволинейный треугольник и прямоугольник.



Знак "-", полученный при вычислении  $\Delta_{гор}$ , означает, что точка  $A$  перемещается по горизонтали не влево (в этом направлении приложена сила  $\bar{F} = 1$ ), а вправо.

Вертикальное перемещение точки  $A$ :

$$\begin{aligned} \Delta_{верт.} &= \frac{M_F \bar{M}_{верт.}}{EI_x} = \\ &= \frac{1}{EI_x} \left[ \frac{2}{3} \cdot 80 \cdot 4 \cdot \frac{3}{8} \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 4 \cdot 20 + \frac{6}{6} (2 \cdot 20 \cdot 4 - 2 \cdot 4 \cdot 160 + 20 \cdot 4 - 4 \cdot 160) \right] = \\ &= -\frac{1200}{EI_x}. \end{aligned}$$

Здесь знак "-" означает, что точка  $A$  перемещается вниз, а не вверх.

Отметим, что единичные эпюры моментов, построенные от силы  $\bar{F} = 1$ , имеют размерность длины, а единичные эпюры моментов построенные от момента  $\bar{M} = 1$ , являются безразмерными.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ИТОВОЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ ПО ТЕМЕ

Контрольная работа – одна из форм проверки и оценки усвоенных знаний, получения информации о характере познавательной деятельности, уровня самостоятельности и активности обучающихся в учебном процессе, эффективности методов, форм и способов учебной деятельности. Отличительной чертой письменной контрольной работы является большая степень объективности по сравнению с устным опросом. Для письменных контрольных работ важно, чтобы система заданий предусматривала как выявление знаний по определенной теме (разделу), так и понимание сущности изучаемых предметов и явлений, их закономерностей, умение самостоятельно делать выводы и обобщения, творчески использовать знания и умения.

При выполнении таких контрольных работ следует использовать предложенную основную литературу и подбирать дополнительные источники.

Ответы на вопросы должны быть конкретны, логичны, соответствовать теме, содержать выводы, обобщения и показывать собственное отношение к проблеме, где это уместно.

Вопросы для подготовки к контрольной работе:

1. Чему равна равнодействующая плоской системы сходящихся сил?
2. Что называется проекцией силы на ось координат?
3. Что называется плечом пары? Что называется моментом пары?

4. Что называют главным вектором системы произвольно расположенных сил? Перечислите свойства главного вектора;
5. Что называют главным моментом системы произвольно расположенных сил? Перечислите свойства главного момента;
6. Что называется моментом силы относительно оси? Правило знаков для момента силы относительно оси;
7. Где находится центр тяжести прямоугольника, треугольника, круга?
8. Как определить центр тяжести сечения составленного из профилей прокатной стали?
9. Что называется моментом устойчивости?
10. Что называется коэффициентом устойчивости?
11. Какое движение называется ускоренным, замедленным, поступательным, вращательным?
12. Какие основные деформации испытывают в процессе эксплуатации элементы конструкций?
13. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении бруса при разных деформациях?
14. Чему равна продольная сила, возникающая в поперечном сечении бруса при растяжении и сжатии?
15. Чему равны нормальные напряжения при растяжении и сжатии?
16. Что называется предельным напряжением; допускаемым напряжением; коэффициентом запаса прочности?
17. Сформулируйте три вида расчетных формул при расчете конструкций на прочность;
18. Какие напряжения возникают при деформации сдвига, по какой формуле можно их определить?
19. Какой вид деформации называется срезом; скалыванием?
20. Что называется углом сдвига; абсолютным сдвигом?
21. Сформулируйте закон Гука при сдвиге;
22. Какой момент инерции называется главным моментом инерции?
23. Что называется главной центральной осью? главным центральным моментом инерции?
24. Чему равен изгибающий момент возникающий в сечении балки при изгибе?
25. Чему равна поперечная сила, действующая в сечении балки при изгибе?
26. Сформулировать правило знаков для изгибающих моментов и поперечных сил;
27. Как строят эпюры поперечных сил и изгибающих моментов?
28. Чему равны нормальные напряжения при чистом изгибе?
29. Какие моменты называют вращающими? Скручивающими?
30. Что называется полным и относительным углом закручивания?
31. Чему равен крутящий момент в сечении бруса?
32. Как определить угол закручивания?

33. Сформулируйте три вида расчетов конструкций на прочность и жесткость при кручении;
34. Чему равен прогиб балки при косом изгибе?
35. Как определить направление прогиба при косом изгибе балки?
36. В каких случаях возникает внецентренное сжатие?
37. Чему равны нормальные напряжения при внецентренном сжатии?
38. В каких случаях применима для определения критической силы формула Эйлера? Сформулируйте формулу Эйлера;
39. Что называется гибкостью стержня?
40. В каких случаях применяют формулу Ясинского?
41. Раскройте сущность проверочного расчета на устойчивость;
42. Какие существуют виды расчетов на устойчивость?
43. Как отличаются плоские и пространственные сооружения?
44. Какими формулами выражаются необходимые условия геометрической неизменяемости?
45. Сформулировать правила размещения промежуточных шарниров в шарнирных балках;
46. Что представляют собой поэтажные схемы шарнирных балок?
47. Правила определения поперечной силы и изгибающего момента в сечениях шарнирной балки;
48. Правила построения эпюр внутренних усилий для шарнирной балки;
49. Правила определения внутренних усилий в сечениях элементов рамы;
50. Правила знаков при построении эпюр продольных и поперечных сил, изгибающих моментов для рам;
51. Правила, определяющие численные значения продольных, поперечных сил, изгибающих моментов;
52. Как определяют опорные реакции арок?
53. Выведите формулы для определения внутренних усилий в сечениях арки;
54. Как определить реакции опор фермы?
55. Какими способами можно определить усилия в стержнях ферм?
56. На чем основан графический способ определения усилий в стержнях ферм?
57. Вывести формулу Мора для определения перемещений;
58. Каков порядок вычисления перемещений системы по формуле Мора?
59. Формула для определения перемещений с использованием правила Верещагина;
60. Как определить степень статической неопределимости?
61. Какая система называется основной системой метода сил?
62. Что называют каноническими уравнениями метода сил?
63. Последовательность расчета статически неопределимых систем методом сил;
64. Последовательность расчета неразрезных балок;
65. Как определяется активное давление сыпучего тела на подпорную стену?

66. Что называют активным давлением грунта?
67. Как определяется пассивное давление грунта?
68. Что называется пассивным давлением грунта?

### **Перечень рекомендуемой литературы:**

Основные источники:

1. Сетков В.И. Техническая механика для строительных специальностей: Учеб. пособие – М.: Академия, 2010

Дополнительные источники:

1. Мухин Н. В., Першин А. Н. Статика сооружений: Учебное пособие для техникумов. – М: «Высшая школа», 2006. – 343с.
2. Мухин Н. В. Статика сооружений в примерах. – М «Высшая школа», 2005. – 303 с.
3. Олофинская В. П. Техническая механика. Сборник тестовых заданий. – М.: «Форум Инфра», 2002. – 132 с.
4. Сетков В. И. Сборник задач по технической механике. Учебное пособие для техникумов. - М.: «Стройиздат», 2007. – 224с
5. Улитин Н. С., Першин А. Н. Сборник задач по технической механике: – М.: «Высшая школа», 2006. – 399с.
6. Эрдеди А.А, Аникин И.В. Техническая механика: Учебник для техникумов. – М.: «Высшая школа», 2005. – 446с.

Интернет-ресурсы (И-Р)

- И-Р 1 [Isopromat.ru>teormeh/literatura](http://Isopromat.ru>teormeh/literatura)

Учебное издание

Е.Г. Чапурина

# **ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

Учебно-методическое пособие

Редактор Лебедева Е.М.

---

Подписано к печати 14.07.2015 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 2,20. Тираж 100 экз. Изд. № 3100.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ