

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

 О.Г. Прохоренко
«08» июля 2022 г.

Регистрационный № УД – 11582/уч.

Сопротивление материалов и основы строительной механики

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2022 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2021, типового учебного плана № G31-1-025/пр-тип. от 30.06.2021 г., учебных планов БГУ: №G31-1-029/уч. от 30.06.2021 г., №G31-1-029/уч.- СИБД от 30.06.2021 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

С.М. Босяков, профессор кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Гаркун А.С. – заместитель директора Института прикладной физики Национальной академии наук Беларуси, кандидат физико-математических наук, доцент.

Юркевич К.С. – доцент кафедры биомеханики и наномеханики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики
(протокол № 12 от 09.06.2022 г.)

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 6 от 09.06.2022 г.)

Заведующий кафедрой теоретической
и прикладной механики
доктор физико-математических наук, профессор

 М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целями изучения дисциплины «Сопротивление материалов и основы строительной механики» для студентов-механиков являются:

- формирование умений корректной механико-математической постановки прикладной задачи, способствование дальнейшему развитию у студентов способностей к составлению расчетных схем механических систем;
- обучить студентов основным понятиям и методам сопротивления материалов и строительной механики, способствующим общему повышению научного уровня решения профессиональных задач;
- повышение уровня профессиональной компетентности в решении задач механики в различных сферах трудовой деятельности.

Задачи учебной дисциплины:

- содействовать развитию у студентов умения корректной постановки задачи, требующей для своего решения использования методов сопротивления материалов и строительной механики;
- ознакомить будущих механиков и специалистов в области прикладной математики с основными понятиями и методами сопротивления материалов и строительной механики, механики деформируемого твердого тела, необходимых при проведении прикладных исследований;
- стимулировать у студентов познавательный интерес по вопросам применения методов сопротивления материалов при решении прикладных задач;
- развить умение анализировать полученную и обработанную в ходе эксперимента информацию, осуществлять на ее основе расчеты напряженно-деформированного состояния механических систем.

Место учебной дисциплины

Учебная дисциплина «Сопротивление материалов и основы строительной механики» относится к **циклу** специальных дисциплин государственного компонента.

Связи с другими учебными дисциплинами

Учебная дисциплина «Сопротивление материалов и основы строительной механики» взаимосвязана с дисциплинами «Теоретическая механика», «Математический анализ», «Линейная и векторная алгебра», «Основы информационных технологий», «Механика сплошной среды». Практические навыки, полученные при изучении дисциплины, будут полезны студентам при написании курсовых и дипломной работ, проведении исследовательских проектов, а также в самообразовании.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Сопротивление материалов и основы строительной механики» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом;

АК-3. Владеть исследовательскими навыками;

АК-4. Уметь работать самостоятельно;

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию;

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям;

СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

ПК-1. Разрабатывать практические рекомендации по использованию научных исследований, планировать и проводить экспериментальные исследования, исследовать патентоспособность и показатели технического и показатели технического уровня разработок программного обеспечения информационных систем, разрабатывать научно-техническую документацию;

ПК-2. Применять современные методы проектирования информационных систем, использовать Web-сервисы, оформлять техническую документацию.

ПК-3. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей;

ПК-4. Разрабатывать и тестировать информационные системы, осуществлять защиту приложений и данных.

ПК-5. Заниматься аналитической и научно-исследовательской деятельностью в области механики и прикладной математики;

ПК-7. Проводить исследования в области эффективности решения производственных задач.

ПК-8. Работать с научной, нормативно-справочной и специальной литературой, разрабатывать и использовать современное учебно-методическое обеспечение.

ПК-9. Вести преподавательскую работу в учреждениях высшего и среднего специального образования в соответствии с полученной квалификацией.

ПК-23. Определять цели инноваций и способы их достижения.

ПК-24. Работать с научной, технической и патентной литературой.

ПК-25. Разрабатывать бизнес-планы создания новых информационных технологий.

ПК-26. Оценивать конкурентоспособность и экономическую эффективность разрабатываемых технологий.

ПК-27. Разрабатывать новые информационные технологии на основе проектирования механических схем и систем, приводимым к математическим моделям и их оптимизациям.

ПК-28. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций.

ПК-29. Реализовывать инновационные проекты в профессиональной деятельности.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные законы, постулаты и аксиомы сопротивления материалов и механики деформируемого твердого тела;
- растяжение-сжатие брусьев, расчетная модель детали или элемента конструкции;
- расчет простейших плоских стержневых систем;
- статически неопределимые системы;
- механические свойства материалов;
- допустимые напряжения;
- коэффициент запаса прочности;
- напряжения и деформации при плоском напряженном состоянии;
- деформации сдвига. практические расчеты на сдвиг;
- напряжения и деформации при кручении бруса круглого сечения;
- кручение брусьев некруглого сечения;
- геометрические характеристики плоских фигур;
- изгиб прямого бруса;
- напряжения при поперечном изгибе;
- дифференциальное уравнение упругой линии бруса при изгибе;
- общий случай напряженного состояния упругого твердого тела;
- практические случаи возникновения сложного напряженного состояния;
- проверка прочности при объемном напряженном состоянии;
- теории прочности;
- определение перемещений по методу Максвелла–Мора;
- стержневые конструкции: фермы и рамы;
- расчет статически неопределимых систем по методу сил;
- кривой изгиб;
- внецентренное растяжение;
- совместное действие изгиба и кручения;
- прочность при переменных напряжениях;
- практические методы расчета на прочность с учетом усталости;
- основы теории колебаний упругих систем;
- собственные колебания с затуханием и вынужденные колебания системы с одной степенью свободы;
- напряжения при ударе;
- устойчивость упругих систем;

уметь:

- составлять расчетную модель детали или элемента конструкции;
- выполнять расчет напряженно-деформированного состояния при растяжении-сжатии брусьев и при сдвиге;
- выполнять расчет сил и перемещений простейших плоских стержневых систем и статически неопределимых систем;
- определять допустимые напряжения и коэффициенты запаса прочности;
- вычислять напряжения и деформации при плоском напряженном состоянии;

- определять напряжения и деформации при кручении бруса круглого сечения и при поперечном изгибе;
- вычислять геометрические характеристики плоских фигур;
- использовать дифференциальное уравнение упругой линии бруса при расчете прогибов при изгибе;
- осуществлять проверку прочности при объемном напряженном состоянии по основным теориям прочности;
- определять перемещения в стержневых конструкциях, фермах и рамах с использованием метода Максвелла–Мора и способа Верещагина;
- выполнять расчет статически неопределимых систем по методу сил;
- оценивать прочность при переменных напряжениях и при ударе;
- оценивать устойчивость упругих систем.

владеть:

- терминологией дисциплины «Сопротивления материалов и основы строительной механики»;
- математическими методами решения задач, используемых в профессиональной деятельности механика;
- навыками применения методов сопротивления материалов и строительной механики в исследованиях;
- навыками использования дифференциального исчисления;
- основными приемами математического анализа;

Структура учебной дисциплины

Структура содержания учебной дисциплины включает такие дидактические единицы, как разделы и темы, в соответствии с которыми разрабатываются и реализуются соответствующие лекционные и практические занятия.

Дисциплина изучается в 3 и 4 семестре дневной формы получения образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Сопротивление материалов и основы строительной механики» отведено: 200 часов, из них количество аудиторных часов – 122, в том числе лекции – 64 часов, практические занятия – 38 часов, управляемая самостоятельная работа – 12 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Формы текущей аттестации – зачет в 3 семестре, экзамен в 4 семестре.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

РАЗДЕЛ 1. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ТОЧКЕ

Тема 1.1. Введение в курс «Сопротивление материалов и основы строительной механики»

Основные понятия: прочность, жесткость, устойчивость. Определение бруса. Ось бруса. Виды брусьев. Типы связей и их условные обозначения. Реакции, создаваемые каждой из этих связей. Классификация нагрузок по способу их приложения к телу. Сосредоточенная сила. Возникновение нагрузки моментами. Примеры нагружения распределенными и сосредоточенными силами и моментами. Принцип Сен-Венана. Классификация нагрузок в зависимости от скорости нагружения. Характеристика отдельных видов деформации: растяжения (сжатия), изгиба, кручения, сдвига, сжатия. Внутренние силы и внутренние усилия. Метод сечения и цель его применения. Полное напряжение в данной точке сечения. Его связь с нормальными и с касательными напряжениями.

Тема 1.2. Напряженное состояние тел

Виды напряженного состояния. Одноосное напряженное состояние. Растяжение (сжатие) призматических стержней. Закон Гука для абсолютных и относительных деформаций. Модуль продольной упругости. Упругие перемещения при растяжении стержня. Коэффициент Пуассона. Относительное и абсолютное удлинения стержня при изменении его температуры.

Тема 1.3. Напряжения и деформации при плоском напряженном состоянии

Плоское напряженное состояние. Напряжения на наклонной площадке при плоском напряженном состоянии. Определение главных площадок и главных напряжений. Сколько существует главных площадок и как они расположены по отношению друг к другу. В каком случае имеется бесчисленное множество главных площадок. Закон парности касательных напряжений. Инварианты плоского напряженного состояния. Использование инвариантов для вычисления главных напряжений. Формула для определения направления главных напряжений. Связь между нормальными напряжениями и линейными деформациями при плоском напряженном состоянии.

Тема 1.4. Объемное напряженное состояние

Общая теория напряжений. Дифференциальные уравнения равновесия в компонентах тензора напряжений. Главные напряжения. Инварианты тензора напряжений. Определение положения главных площадок. Закон Гука для объемного напряженного состояния. Октаэдрическое напряжение. Шаровой тензор и девиатор напряжений.

РАЗДЕЛ 2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

Тема 2.1. Геометрические характеристики плоских фигур

Статический момент площади сечения относительно некоторой оси. Центральные оси. Центр площади сечения. Величина статического момента площади при параллельном переносе осей. Полярный момент инерции площади сечения. Полярный момент сопротивления площади сечения. Определение осевого и центробежного моментов инерции сечения. Расчет моментов инерции при параллельном переносе и повороте осей координат. Главные и центральные оси инерции. Первый и второй инварианты. Определение моментов инерции сечения относительно главных осей. Формулы для вычисления моментов инерции площади сечения относительно главных центральных осей для прямоугольника, квадрата, равностороннего треугольника, круга и кольца.

РАЗДЕЛ 3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ДЕФОРМАЦИЙ. СЛОЖНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Тема 3.1. Деформации сдвига. Практические расчеты на сдвиг.

Чистый сдвиг. Главные напряжения при чистом сдвиге. Площадки, по которым действуют главные напряжения. Деформации при чистом сдвиге. Относительный и абсолютный сдвиг. Возникают ли при чистом сдвиге деформации растяжения или сжатия. Модуль сдвига и его связь с модулем продольной упругости.

Тема 3.2. Напряжения и деформации при кручении

Деформация кручения. Напряженное состояние стержня при кручении. Уравнение равновесия в компонентах вектора перемещений и компонентах тензора напряжений. Определение главных и максимальных касательных напряжений при кручении. Площадки, по которым действуют главные и максимальные касательные напряжения.

Тема 3.3. Кручение брусьев круглого поперечного сечения

Касательные напряжения при кручении бруса круглого поперечного сечения. Угол закручивания. Относительный угол закручивания. Полярный момент инерции. Жесткость при кручении. Определение угла закручивания и относительного угла закручивания. Нахождение касательных напряжений при кручении. Условие прочности при кручении.

Тема 3.4. Изгиб прямого бруса

Чистый и поперечный изгиб. Вычисление поперечной силы и изгибающего момента в заданном сечении балки. Правило знаков. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Дифференциальные зависимости

между интенсивностью распределенной нагрузки, поперечной силой и изгибающим моментом.

Тема 3.5. Нормальные напряжения при чистом изгибе

Гипотезы при определении нормальных напряжений при чистом изгибе. Нейтральная линия при чистом изгибе. Нормальные напряжения при чистом изгибе. Эпюра нормальных напряжений. Условие прочности при изгибе. Момент сопротивления изгибу.

Тема 3.6. Напряжения при поперечном изгибе

Определение величины касательных напряжений в продольных сечениях балки. Формула Журавского для определения касательных напряжений при поперечном изгибе. Вычисление статического момента, входящего в формулу для касательных напряжений. Наибольшее и наименьшее значение касательных напряжений. Эпюра касательных напряжений для балки прямоугольного сечения и максимальные напряжения. Случаи, когда касательные напряжения играют существенную роль при оценке прочности балки.

Тема 3.7. Дифференциальное уравнение упругой линии бруса при изгибе

Прогиб и угол поворота сечения балки. Правило знаков для перемещений балки. Связь прогибов и углов поворота сечений жесткой балки. Кривизна балки. Зависимость кривизны от изгибающего момента. Дифференциальное уравнение упругой линии балки, связывающее функцию прогибов и интенсивность распределенной поперечной нагрузки. Интегрирование уравнения упругой линии в случае балки постоянного сечения. Физический смысл произвольных постоянных интегрирования и условия их определения. Влияние условий закрепления на определение постоянных интегрирования. Зависимость изгибающего момента и поперечной силы от прогиба. Дополнительные условия на границах двух участков балки.

Тема 3.8. Метод начальных параметров

Уравнение метода начальных параметров. Начальный прогиб и начальный угол поворота. Особенности формулировки уравнения метода начальных параметров при действии изгибающего момента, поперечной силы и распределенной нагрузки. Дополнение распределенной нагрузки при нарушении ее непрерывности распределения по длине балки. Определение начальных параметров для шарнирно закрепленной и консольной балки. Граничные условия. Применение метода начальных параметров при раскрытии статической неопределимости. Расчет один раз статически неопределимой балки.

Тема 3.9. Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение.

Условия возникновения косоугольного изгиба. Формула для нормального напряжения при косом изгибе. Определение нейтральной линии при косом

изгибе и уравнение нейтральной линии. Опасные точки при косом изгибе. Проверка прочности балки. Вычисление нормальных напряжений при внецентренном растяжении. Уравнение нейтральной линии при внецентренном растяжении-сжатии. Физический смысл ядра сечения. Особенности построения ядра сечения. Построение ядра сечения для элементарных поперечных сечений.

Тема 3.10. Проверка прочности при объемном напряженном состоянии. Теории прочности.

Теории прочности. Критерии, лежащие в основе различных теорий прочности. Эквивалентное напряжение. Коэффициент запаса в случае объемного напряженного состояния. Выражения для эквивалентных напряжений и условия прочности по первой второй теориям прочности. Выражения для эквивалентных напряжений по третьей и четвертой теориям прочности. Области применимости теории. Использование теории прочности для определения допускаемого напряжения сдвига. Определение допускаемых нормальных и касательных напряжений.

РАЗДЕЛ 4. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТЕЛ. МЕТОДЫ РАСЧЕТА МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Тема 4.1. Потенциальная энергия деформируемых тел

Работа внешних сил по деформации тела. Обобщенные силы и обобщенные перемещения. Дополнительная работа по деформации тела. Линейная зависимость между обобщенными силами и обобщенными перемещениями. Простое нагружение. Теорема Клайперона. Теорема Кастильяно. Теорема о взаимности перемещений.

Тема 4.2. Применение энергетического метода для определения упругих перемещений

Потенциальная энергия для различных случаев упругого деформирования. Формула для определения обобщенных перемещений. Интегралы Максвелла–Мора. Правило Верещагина вычисления интегралов Максвелла–Мора.

Тема 4.3. Расчет статически неопределимых систем по методу сил

Понятия статически неопределимой системы, основной системы и эквивалентной системы. Система канонических уравнений метода сил. Вычисление коэффициентов канонических уравнений. Вычисление свободных членов канонических уравнений. Порядок операций при расчете статически неопределимой рамы. Проверка прочности рамы и определение перемещений.

Тема 4.4. Неразрезные балки. Теорема о трех моментах.

Определение неразрезной балки. Опорные моменты. Простая балка. Опорные реакции от фиктивной нагрузки. Уравнение трех моментов. Уравнение трех моментов при равенстве моментов инерции и равенстве длин простых

балок. Определение поперечных сил и изгибающих моментов с применением уравнения трех моментов.

РАЗДЕЛ 5. КРИВЫЕ БРУСЬЯ

Тема 5.1. Расчет кривых брусьев

Плоские кривые брусья большой кривизны. Нормальные напряжения в брусьях большой кривизны в случае чистого изгиба. Нейтральная линия. Эпюра нормальных напряжений для брусьев большой кривизны. Определение внутренних усилий. Определение положения нейтральной линии в частных случаях.

РАЗДЕЛ 6. УСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГИХ СИСТЕМ

Тема 6.1. Устойчивость упругих систем.

Основные понятия. Виды равновесия. Критическая сила. Определение критических нагрузок. Вывод формулы Эйлера для критической силы. Влияние способа закрепления концов стержня на значение критической силы. Пределы применимости формулы Эйлера. Формула Ясинского. Критические напряжения. Условие устойчивости. Коэффициент продольного изгиба. Допускаемое напряжение при расчете на устойчивость. Последовательность расчета сжатых стержней на устойчивость.

РАЗДЕЛ 7. ДИНАМИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ УДАРНЫХ НАГРУЗКАХ

Тема 7.1. Напряжения при ударе

Ударные нагрузки. Динамический коэффициент. Допущения, используемые при определении динамического коэффициента. Закон сохранения импульса при ударе. Формулы для динамических коэффициентов без учета массы ударяемой системы, в случае, когда масса системы сосредоточены в месте удара, а также в случае распределенной массы. Динамические напряжения в различных случаях. Продольный удар по брусу постоянного поперечного сечения. Изгибающий удар по шарнирно закрепленной балке.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы | Количество аудиторных часов | | | | | Количество часов УСР | Формы контроля знаний |
|---------------------|---|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------|----------------------|---------------------------------|
| | | Лекции | Практические занятия | Семинарские занятия | Лабораторные занятия | Иное | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | Исследование напряженного состояния в точке | 8 | | | | | | |
| 1.1 | Введение в курс «Сопротивление материалов и основы строительной механики» | 2 | | | | | | |
| 1.2 | Напряженное состояние тел | 2 | 2 | | | | 2 | Устный опрос |
| 1.3 | Напряжения и деформации при плоском напряженном состоянии | 2 | 2 | | | | | Устный опрос |
| 1.4 | Объемное напряженное состояние | 2 | 2 | | | | | Проверка индивидуальных заданий |
| 2 | Геометрические характеристики плоских сечений | 2 | | | | | | |
| 2.1 | Геометрические характеристики плоских фигур | 2 | | | | | | Устный опрос |
| 3 | Основы типы деформаций. Сложное сопротивление | 28 | | | | | | |
| 3.1 | Деформации сдвига. Практические расчеты на сдвиг | 2 | | | | | | Устный опрос |

| | | | | | | | | |
|----------|--|-----------|---|---|--|--|---|---|
| 3.2 | Напряжения и деформации при кручении | 2 | 2 | | | | | Проверка индивидуальных зданий |
| 3.3 | Кручение брусев круглого поперечного сечения | 4 | 2 | | | | | Устный опрос |
| 3.4 | Изгиб прямого бруса | 2 | | | | | | Устный опрос |
| 3.5 | Нормальные напряжения при чистом изгибе | 4 | 2 | | | | | Проверка индивидуальных заданий |
| 3.6 | Напряжения при поперечном изгибе | 2 | 2 | | | | 2 | Устный опрос |
| 3.7 | Дифференциальное уравнение упругой линии бруса при изгибе | 2 | 2 | | | | | Проверка индивидуальных заданий |
| 3.8 | Метод начальных параметров | 4 | 2 | | | | 2 | Устный опрос |
| 3.9 | Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение | 4 | 4 | | | | | Проверка индивидуальных заданий |
| 3.10 | Проверка прочности при объемном напряженном состоянии. Теории прочности | 2 | | | | | | Устный опрос |
| 4 | Потенциальная энергия деформируемых тел. Методы расчета механических систем | 14 | | | | | | |
| 4.1 | Потенциальная энергия деформируемых тел | 2 | 2 | | | | | Устный опрос |
| 4.2 | Применение энергетического метода для определения упругих перемещений | 4 | 2 | | | | | Устный опрос |
| 4.3 | Расчет статически неопределимых систем по методу сил | 4 | 2 | 2 | | | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальных заданий |
| 4.4 | Неразрезные балки. Теорема о трех моментах | 4 | 2 | 2 | | | | Устный опрос |

| | | | | | | | | |
|----------|--|-----------|-----------|----------|--|--|-----------|---|
| 5 | Кривые брусья | 4 | | | | | | |
| 5.1 | Расчет кривых брусьев | 4 | 2 | | | | | Устный опрос |
| 6 | Устойчивость упругих систем | 4 | | | | | | |
| 6.1 | Устойчивость упругих систем | 4 | 4 | 2 | | | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальных заданий |
| 7 | Динамические напряжения при ударных нагрузках | 4 | | | | | | |
| 7.1 | Напряжения, возникающие при ударной нагрузке | 4 | 2 | 2 | | | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальных заданий |
| | ИТОГО | 64 | 38 | 8 | | | 12 | |

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов: учебное пособие / В.И. Феодосьев. — 17-е изд. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. — 542 с. — ISBN 978-5-7038-4819-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106484>
2. Атапин, В. Г. Механика. Теоретическая механика. Сопротивление материалов : [учебник] / В. Г. Атапин. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. - 377 с. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1867821>
3. Смирнов, В. А. Строительная механика : учебник для вузов / В. А. Смирнов, А. С. Городецкий ; под редакцией В. А. Смирнова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 423 с. — (Специалист). — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/412694>
4. Победря, Б.Е. (1937–2016). Лекции по теории упругости / Б. Е. Победря, Д. В. Георгиевский. - Изд. 2-е. - Москва : URSS : Ленанд, 2018. - 205 с.
5. Журавков, М.А. Математические модели механики твердых тел : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям "Механика и математическое моделирование", "Физика (по направлениям)", "Промышленное и гражданское строительство", "Автомобильные дороги" / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов ; БГУ. - Минск : БГУ, 2021. - 535 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Александров А.В., Державин Б.П., Лащеников Б.Я. и др. Сборник задач по сопротивлению материалов. М., 1977.
2. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. М., 2003. 560 с.
3. Беляев Н.М. Сборник задач по сопротивлению материалов. Под ред. В.К.Качурина. М., 1972.
4. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М., 1976.
1. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов. М., 1986.
2. Бородин Н.А. Сопротивление материалов. М., 1992.
3. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М., 1995.
4. Винокуров Е.Ф. и др. Справочник по сопротивлению материалов. Мн., 1988.
5. Глушков Г.С., Синдеев В.А. Курс сопротивления материалов. М., 1965.
6. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. М., 1969.
5. Ильюшин А.А., Ленский В.С. Сопротивление материалов. М., 1959.
6. Ицкович Г.М. Сопротивление материалов. М., 1970.
7. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. Л., 1962.
8. Писаренко Г.С. и др. Сопротивление материалов. Киев, 1986.

9. Писаренко Г.С., Агарев В.А., Квитка А.Л. и др. Сопротивление материалов. Киев, 1979
10. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев, 1988.
11. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. М., Т.1-3, 1956-1959.
7. Работнов Ю.Н. Сопротивление материалов. М., 1962.
12. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М., 1979.
13. Рубинин М.В. Руководство к практическим занятиям по сопротивлению материалов. М., 1963.
8. Смирнов А.Ф., Александров Л.В., Молахов Н.И. и др. Сопротивление материалов / Под ред. А.Ф.Смирнова, М., 1975.
9. Сопротивление материалов: Учебник / Г.Д. Межецкий, Г.Г. Загребин, Н.Н. Решетник; под общ. Ред. Г.Д. Межецкого, Г.Г. Загребина. - 5-е изд., - М. 2016. - 432с.
10. Старовойтов Э.И. Сопротивление материалов. Гомель: БелГУТ, 2004. 376 с.
14. Степин П.А. Сопротивление материалов. М., 1988.
15. Тимошенко С.П. История науки о сопротивлении материалов. М., 1957.
16. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. М., 1965.
17. Троценко В.Т., Красовский А.Я., Покровский В.В., Сосновский Л.А., Стрижало В.А. Сопротивление материалов деформированию и разрушению: Справочное пособие. Киев, 1993. Ч.1. 288 с. Ч.2. 701 с.
18. Уманский А.А., Афанасьев А.М., Вольмир А.С. и др. Сборник задач по сопротивлению материалов. М., 1973.
19. Феодосьев В.И. Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов. М., 1975.
20. Феодосьев В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. М., 1973.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Перечень рекомендуемых средств диагностики:

1. Устный опрос.
2. Индивидуальное задание.

Методика формирования итоговой оценки:

Итоговая оценка формируется на основе документов:

- Правила проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29.05.2012);
- Положение о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в Белорусском государственном университете (Приказ ректора БГУ № 189-ОД от 31.03.2020 г.);

- Положение об организации аттестации лиц, не сдавших экзамены, зачеты, не прошедших иные формы контроля результатов учебной деятельности, предусмотренные учебными планами и учебными программами, и ликвидации академической разницы в учебных планах в Белорусском государственном университете (Приказ ректора БГУ 29.08.2018 № 490-ОД);
- Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов (курсантов, слушателей) от 18.11.2019.
- Критерии оценки знаний и компетенций студентов по 10-балльной шкале (Письмо Министерства образования Республики Беларусь 21-04-01/105 от 22.12.2003).

Оценка за ответы на практических занятиях (устный опрос) включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики и т.д.

Формами текущей аттестации по дисциплине «Соппротивление материалов и основы строительной механики» учебным планом предусмотрены зачет и экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

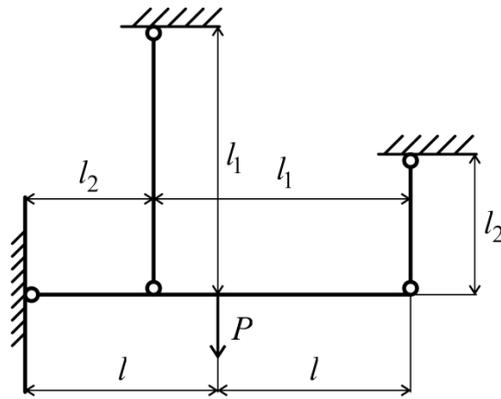
Формирование оценки текущей успеваемости: отметка текущей успеваемости представляет собой среднеарифметическую величину отметок по всем формам текущего контроля знаний по учебной дисциплине.

Итоговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки текущей успеваемости составляет 40%, экзаменационной оценки – 60%.

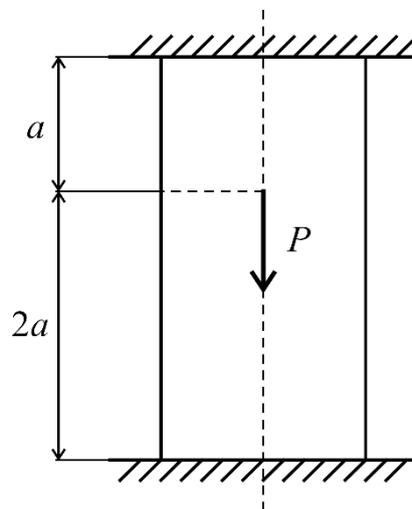
Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема № 1.2. Напряженное состояние тел

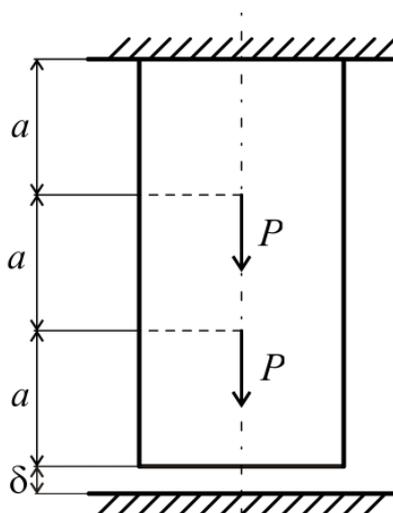
Задача 1.2.1. Абсолютно жесткий брус AC , нагруженный силой $P = 300$ кН, шарнирно закреплен в точке A и подвешен на двух стальных стержнях с сечениями $F_1 = 5$ см², $F_2 = 10$ см². Длины стержней $l_1 = 2$ м, $l_2 = 1$ м, $l = 1,5$ м, модуль упругости стержня $E = 210$ ГПа. Найти напряжения в стержнях.



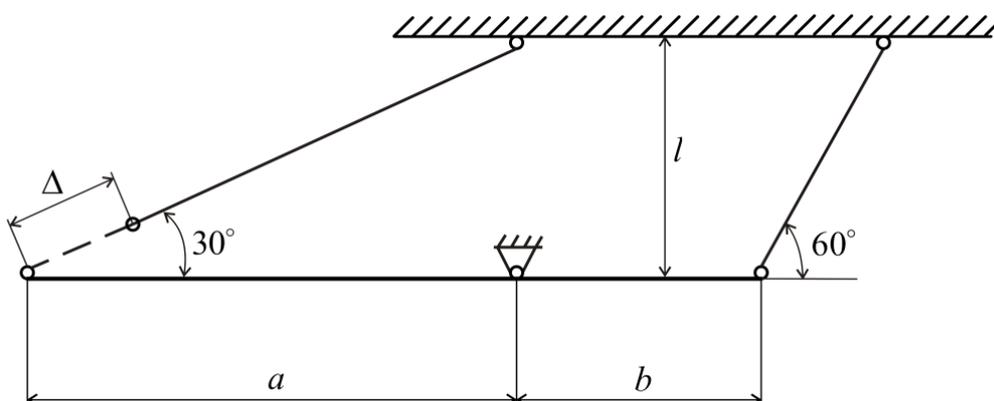
Задача 1.2.2. Стальной стержень постоянного поперечного сечения, заземленный обоими концами, нагружен силой $P = 30$ кН. Площадь поперечного сечения стержня $F = 20$ см². Построить эпюры продольных сил и перемещений. Модуль упругости $E = 200$ ГПа, $a = 5$ см.



Задача 1.2.3. Определить напряжения в сечениях стержня, показанного на рисунке. Плоскости A и B абсолютно неподатливы. Принять $a = 0,5$ м, $F = 100$ см², $P = 1,5$ МН, $\delta = 0,1$ мм, $E = 200$ ГПа. Зазор δ имеет указанный размер до приложения нагрузки P . После ее приложения он закрывается.



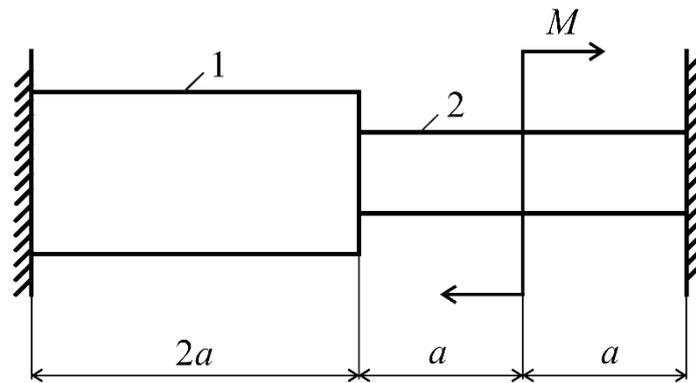
Задача 1.2.4. Жесткий брус, изображенный на рисунке, прикреплен к фундаменту при помощи шарнира C и двух стальных тяг одинакового поперечного сечения. Левая тяга выполнена короче проектного размера на величину $\Delta = 5$ мм. Определить напряжения в тягах после сборки конструкции. Геометрические размеры конструкции $a = 3$ м, $b = 1$ м и $l = 2$ м.



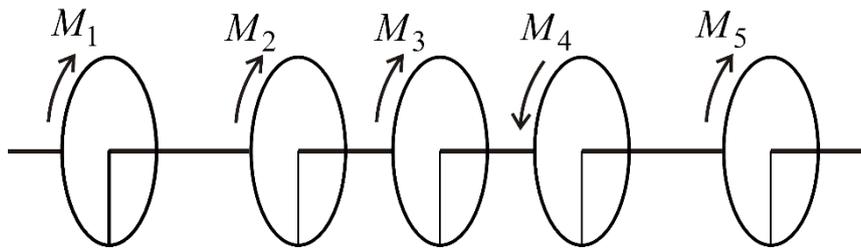
Форма контроля – устный опрос

Тема 3.3. Кручение брусев круглого поперечного сечения

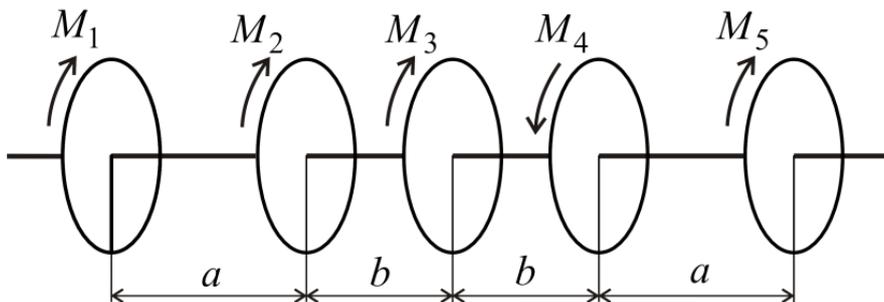
Задача 3.3.1. Построить эпюру крутящих моментов и углов поворота для круглого бруса ступенчато-переменного сечения жестко закрепленного по концам, при действии на него скручивающего момента $M = 2$ кН·м, модуль сдвига $G = 80$ ГПа, $a = 50$, $d_1 = 10$, $d_2 = 6$ см.



Задача 3.3.2. На стальной вал через 5 шкивов действуют пары сил, показанные на рисунке. Построить эпюру крутящего момента и подобрать диаметр вала при $[\tau] = 90$ МПа. Крутящие моменты $M_1 = 1$, $M_2 = M_5 = 2$, $M_3 = 3$, $M_4 = 8$ кН·м. Модуль сдвига $G = 80$ ГПа.



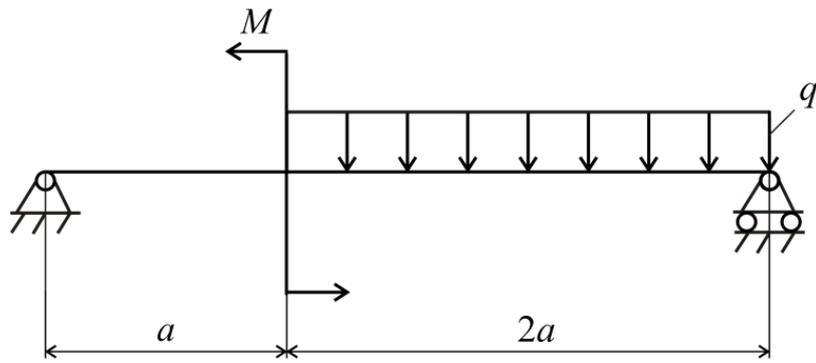
Задача 3.3.3. На стальной вал через пять шкивов действуют пары сил, показанные на рисунке ($M_1 = 1$, $M_2 = M_5 = 2$, $M_3 = 3$, $M_4 = 8$ кН·м, $a = 120$ мм, $b = 90$ мм, $E = 210$ ГПа). Определить величину угла поворота правого концевое сечения вала по отношению к левому.



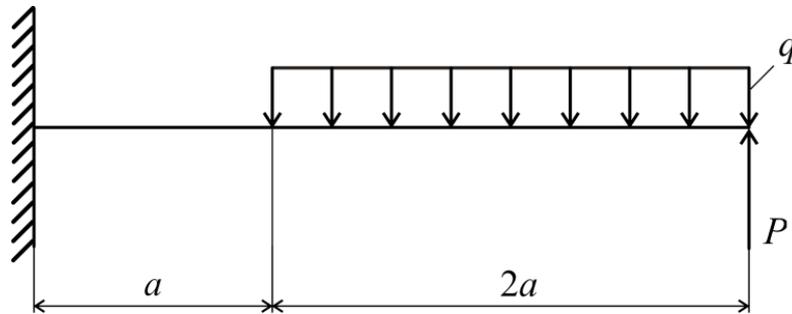
Форма контроля – устный опрос

Тема 3.6. Напряжения при поперечном изгибе

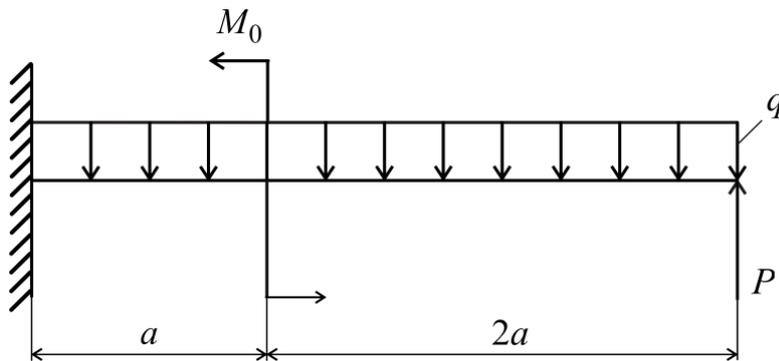
Задача 3.6.1. Для шарнирно опертой по концам балки, нагруженной, как показано на рисунке, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. При построении принять $M = qa^2$.



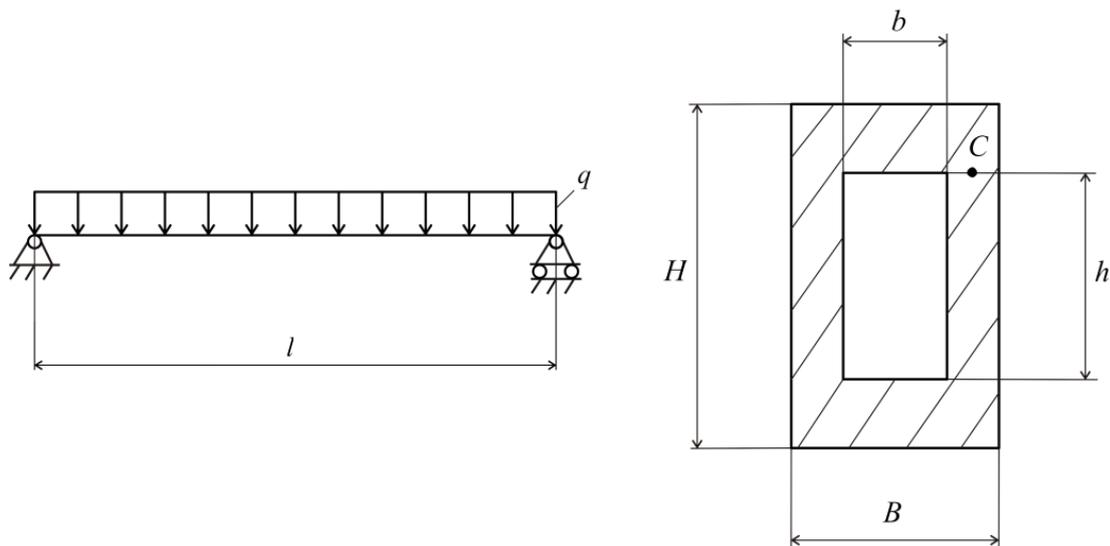
Задача 3.6.2. Консоль длиной $l = 3a$ нагружена равномерно распределенной нагрузкой и сосредоточенными силами. Установить при каком значении силы P момент в заделке обратится в нуль. Построить эпюры Q и M при найденном значении силы.



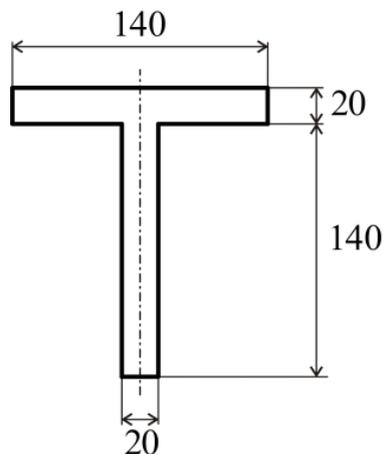
Задача 3.6.3 Для деревянной балки, схема нагружения и размеры которой показаны на рисунке, по наибольшему изгибающему моменту подобрать прямоугольное поперечное сечение при отношении высоты сечения к ширине $h/b = 3/2$. Сила $P = 20$ кН, момент $M = 20$ кНм и интенсивность распределенной нагрузки $q = 20$ кН/м. Допускаемое напряжение $[\sigma] = 12$ МПа, $a = 1$ м.



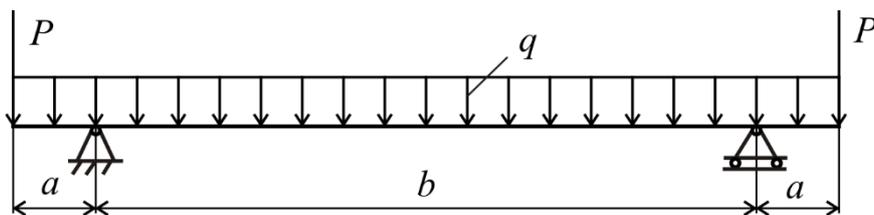
Задача 3.6.4. Балка трубчатого поперечного сечения пролетом $l = 4$ м, шарнирно опертая по концам, несет равномерно распределенную нагрузку $q = 30$ кН/м. Определить величину напряжений в точке C опасного сечения балки, если его размеры $b_1 = 12$, $b_2 = 6$, $h_1 = 20$, $h_2 = 10$ см.



Задача 3.6.5. Балка таврового профиля длиной $l = 1,4$ м, зашеченная одним концом, нагружена в вертикальной плоскости сосредоточенной силой P . Приложенной на другом свободном конце консоли. Размеры сечения даны на рисунке в миллиметрах. Определить величину силы P и значение наибольших сжимающих напряжений, если растягивающие напряжение в опасном сечении $\sigma_{\max} = 42,4$ МПа. Геометрические размеры сечения на схеме сформулированы в мм.



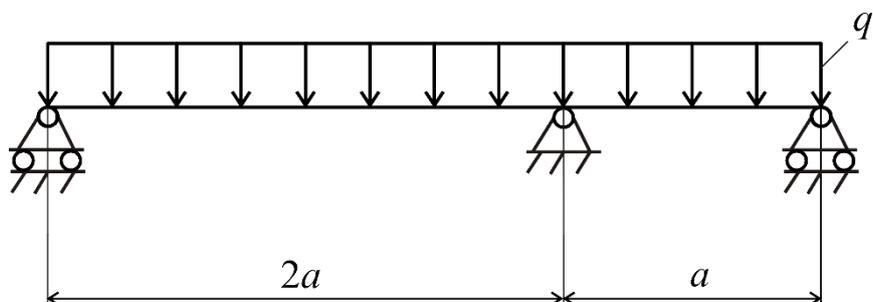
Задача 3.6.6. Подобрать сечение консольной балки двутаврового профиля, нагруженной, как показано на рисунке. Допускаемые напряжения принять $[\sigma] = 160$ МПа, $[\tau] = 100$ МПа.



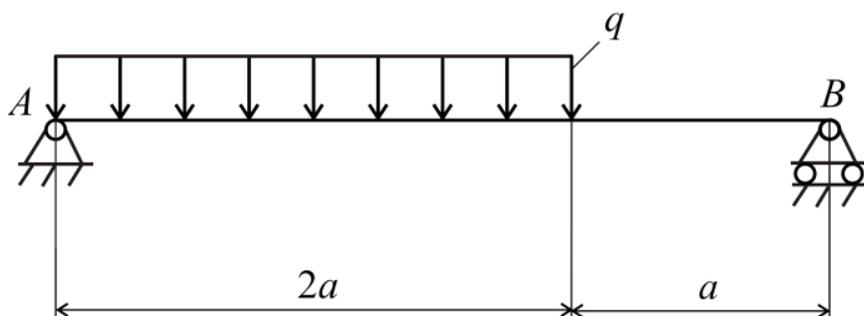
Форма контроля – устный опрос

Тема 3.8. Метод начальных параметров.

Задача 3.8.1. Раскрыть статическую неопределимость стальной двутавровой балки с применением метода начальных параметров и определить опорные реакции.



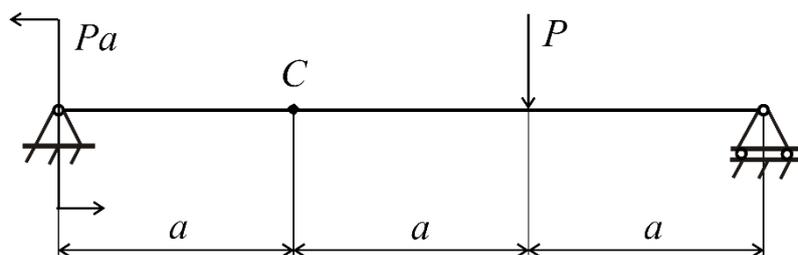
Задача 3.8.2. Пользуясь методом начальных параметров, определить величину наибольшего прогиба и угол поворота опорного сечения A деревянной балки, изображенной на рисунке. Сечение балки – прямоугольник со сторонами $b = 15$ см и $h = 20$ см, пролет $a = 2$ м. Интенсивность распределенной нагрузки $q = 3$ кН/м.



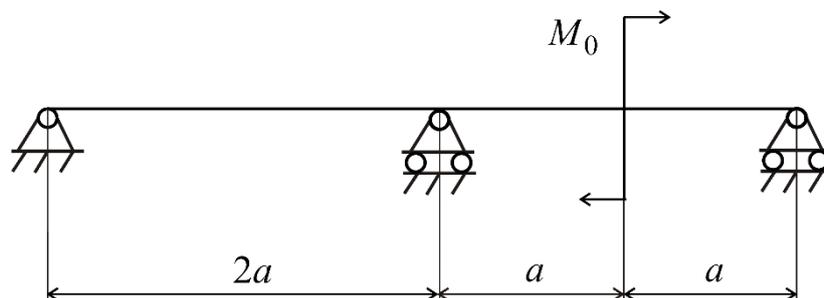
Форма контроля – устный опрос

Тема 4.3. Расчет статически неопределимых систем по методу сил.

Задача 4.3.1. Определить величину прогиба сечения C балки, показанной на рисунке, на основании метода сил.



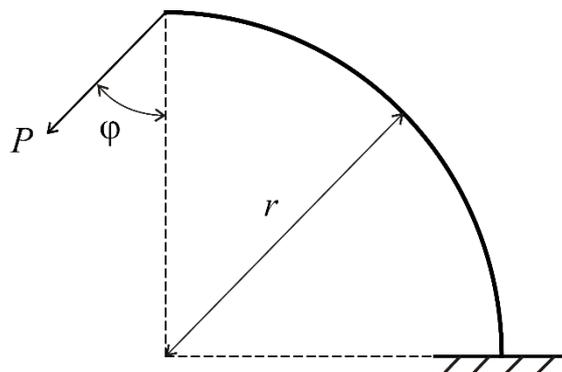
Задача 4.3.2. Раскрыть статическую неопределенность, используя метод сил, определить опорные реакции, построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента.



Форма контроля – устный опрос

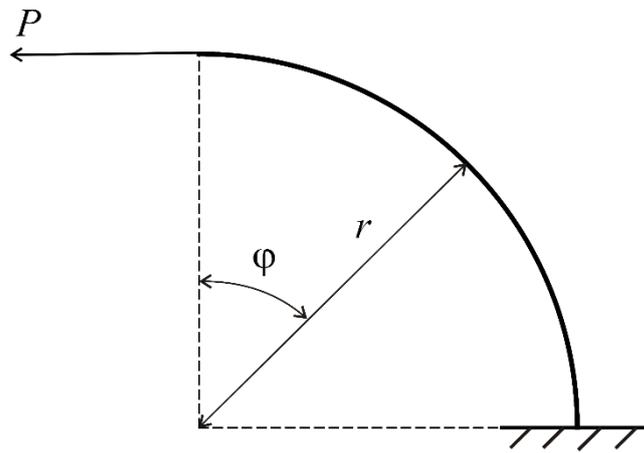
Тема 5.1. Расчет кривых брусьев.

Задача 5.1.1. Построить эпюры M , N и Q для кривого бруса с осью, очерченной по дуге окружности. Сила $P=40$ кН, радиус $r=0,6$ м, угол $\varphi=45^\circ$.



Задача 5.1.2. Определить напряжения в сечении кривого бруса прямоугольного поперечного сечения, соответствующем углу $\varphi=45^\circ$. Стороны прямоугольника $b=5$, $h=10$, $r_1=25$, $r_2=35$ см, сила $P=40$ кН. Радиус кривизны нейтральной линии рассчитывать по приближенной формуле

$$r_0 = r \left(1 - \frac{1}{12} \left(\frac{h}{r} \right)^2 \right).$$



Форма контроля – устный опрос

Тема 6.1. Устойчивость упругих систем.

Задача 6.1.1. Из условия устойчивости с помощью таблицы значений коэффициента уменьшения основного допускаемого напряжения (коэффициента продольного изгиба) для сжатых стержней определить размеры поперечного сечения деревянной стойки, нагруженной продольной сжимающей силой $P = 200$ кН. Один конец стойки оперт шарнирно, второй защемлен. Длина $l = 3$ м, сечение стойки прямоугольное с отношением сторон $h/b = 2$. Основное допускаемое напряжение $[\sigma] = 10$ МПа, $E = 10$ ГПа.

6.1.2. Определить величины критической силы и критического напряжения для сжатой стойки двутаврового поперечного сечения № 27. Оба конца стойки шарнирно закреплены. Длина стойки $l = 4$ м. Стойка изготовлена из стали с пределом пропорциональности $\sigma_{pr} = 200$ МПа, модулем упругости $E = 200$ ГПа.

6.1.3. Определить величины критической силы и критического напряжения для сжатой стойки двутаврового поперечного сечения № 27. Оба конца стойки заделаны. Длина стойки $l = 4$ м. Стойка изготовлена из стали с пределом пропорциональности $\sigma_{pr} = 200$ МПа, модулем упругости $E = 200$ ГПа.

6.1.4. Из условия устойчивости с помощью таблицы значений коэффициента уменьшения основного допускаемого напряжения (коэффициента продольного изгиба) для сжатых стержней определить размеры поперечного сечения двутавровой стойки, нагруженной продольной сжимающей силой $P = 1,2$ МН. Оба конца стойки защемлены, длина стойки $l = 5$ м. Основное допускаемое напряжение $[\sigma] = 160$ МПа.

Форма контроля – устный опрос.

Тема 7.1. Напряжения, возникающие при ударной нагрузке.

Задача 7.1.1. Определить с учетом собственного веса нормальные напряжения в поперечном сечении двутаврового бруса № 16 высотой 2 м при продольном ударе. Модуль упругости $E = 200$ ГПа, плотность стали $\rho = 7800$ кг/м³. Высота падения груза массой 50 кг составляет 5 см.

Задача 7.1.2. Определить без учета собственного веса нормальные напряжения в поперечном сечении двутаврового бруса (№ 16) высотой 2 м при продольном ударе. Модуль упругости $E = 200$ ГПа. Высота падения груза массой 50 кг составляет 5 см.

Задача 7.1.3. На середину стальной шарнирно опертой балки (двутавр № 20) длиной $l = 2$ м, с высоты $h = 4$ см падает груз массой 400 кг. Определить без учета собственного веса балки наибольшие нормальные напряжения в ее поперечном сечении при ударе. Модуль упругости $E = 200$ ГПа.

Задача 7.1.4. На середину стальной шарнирно опертой балки длиной $l = 2$ м, с высоты $h = 4$ см падает груз массой 400 кг. Определить с учетом собственного веса балки наибольшие нормальные напряжения в ее поперечном сечении при ударе. Балкой является двутавр №20. Модуль упругости $E = 200$ ГПа, плотность стали $\rho = 7800$ кг/м³.

Форма контроля – устный опрос.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются *эвристический* и *практико-ориентированный подходы*.

Эвристический подход предполагает:

- осуществление студентами лично-значимых открытий окружающего мира;
- демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач и жизненных проблем;
- творческую самореализацию обучающихся в процессе создания образовательных продуктов;
- индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности.

Практико-ориентированный подход предполагает:

- освоение содержание образования через решение практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения различных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине «Сопротивление материалов и основы строительной механики» используются современные информационные ресурсы: на образовательном портале Moodle размещен комплекс учебных и учебно-методических материалов (а именно, теоретические материалы, методические указания к выполнению практических заданий, вопросы для подготовки к экзамену, индивидуальные задания, список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов).

Индивидуальные задания выполняются по темам 1.4, 3.2, 3.5, 3.7, 3.9, 4.3, 6.1, 7.1 (задания выдаются в начале занятия).

Другая значимая информация

Примерная тематика индивидуальных заданий

Задание 1.

Расчет статически неопределимой стержневой системы с учетом изменения температуры

Абсолютно жесткий брус, нагруженный заданной нагрузкой, поддерживается шарнирно-неподвижной опорой A и двумя деформируемыми стальными стержнями 1 и 2. Температура стержня в период эксплуатации может повышаться на величину Δt °C. Кроме того, стержень 2 изготовлен на величину Δ короче проектного размера. Неточность изготовления Δ устраняется растяжением стержня при монтаже.

Определить усилия в стержнях 1 и 2 в период эксплуатации. При расчете принять $E = 210$ ГПа, $\alpha = 125 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹. Расчетные схемы представлены на рисунках 1.1 – 1.10.

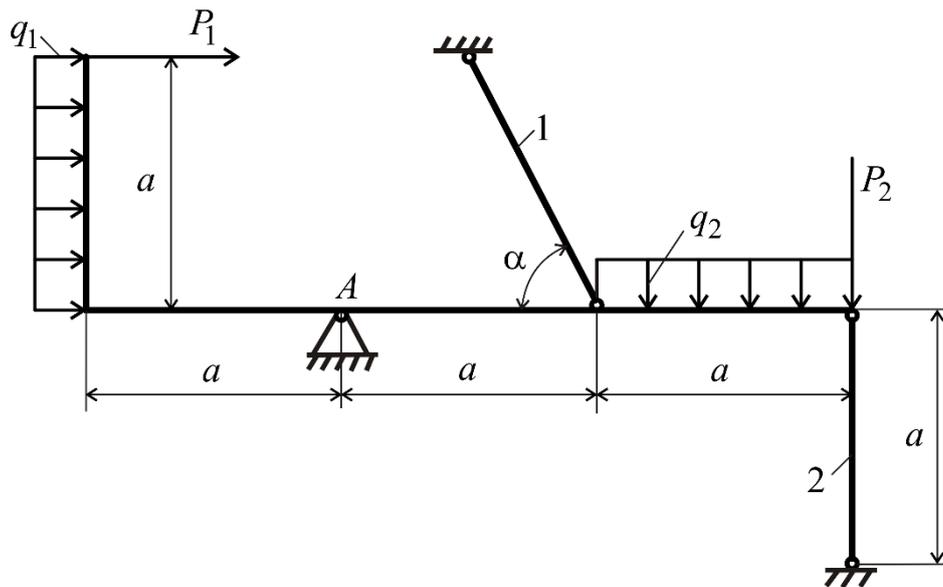


Рис. 1.1

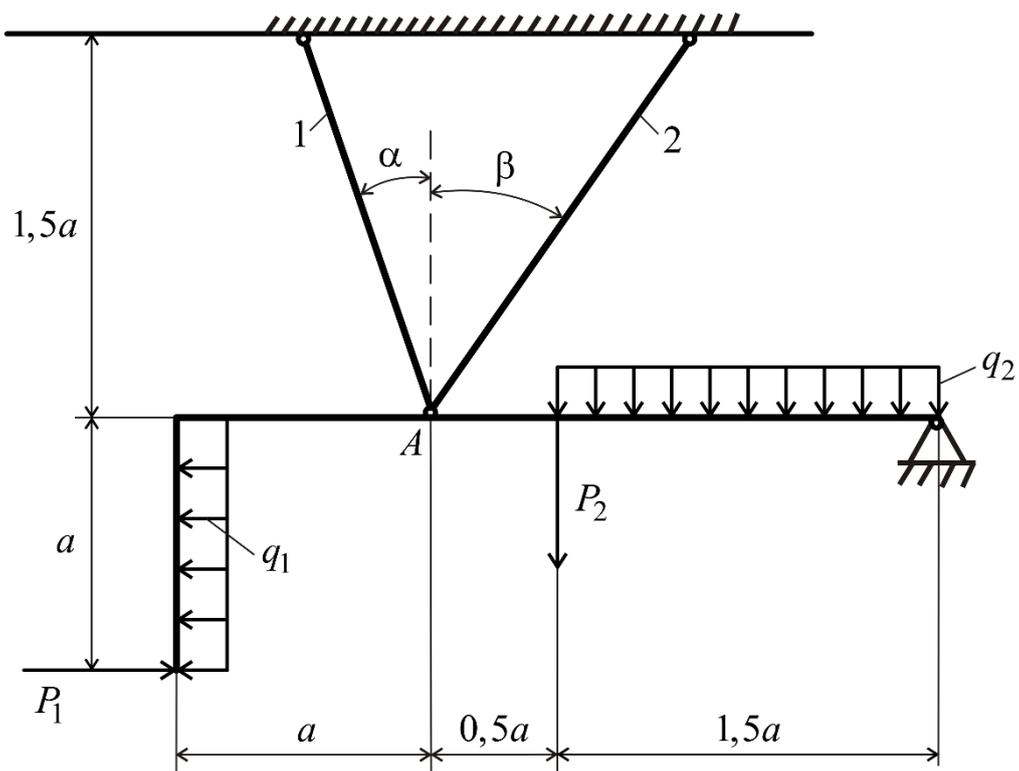


Рис. 1.2

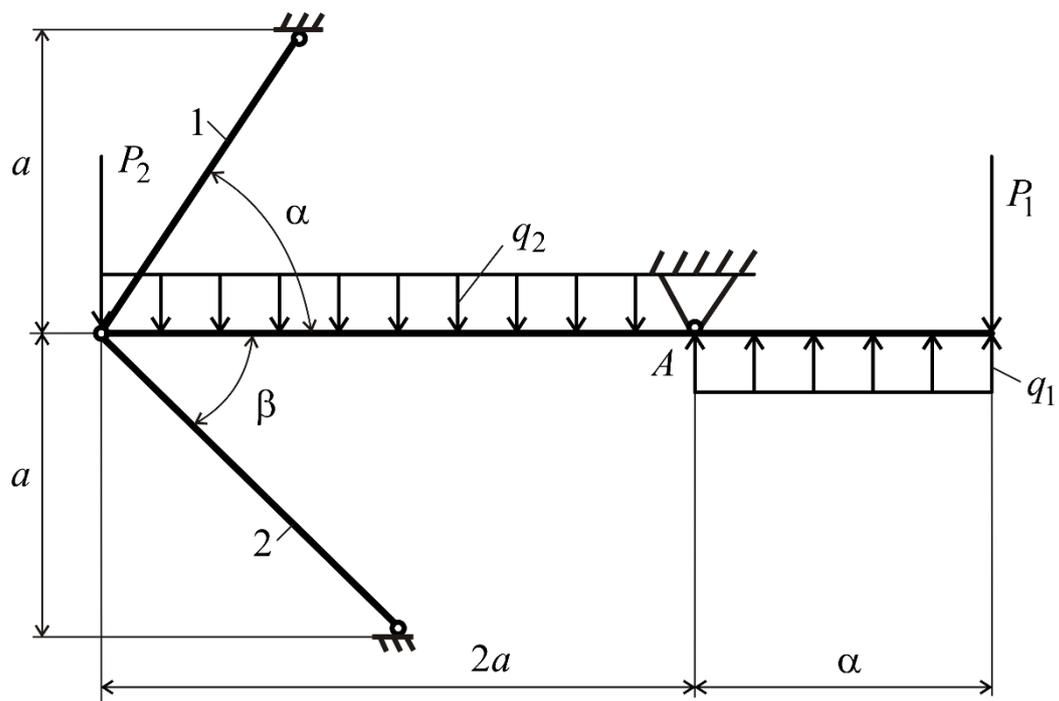
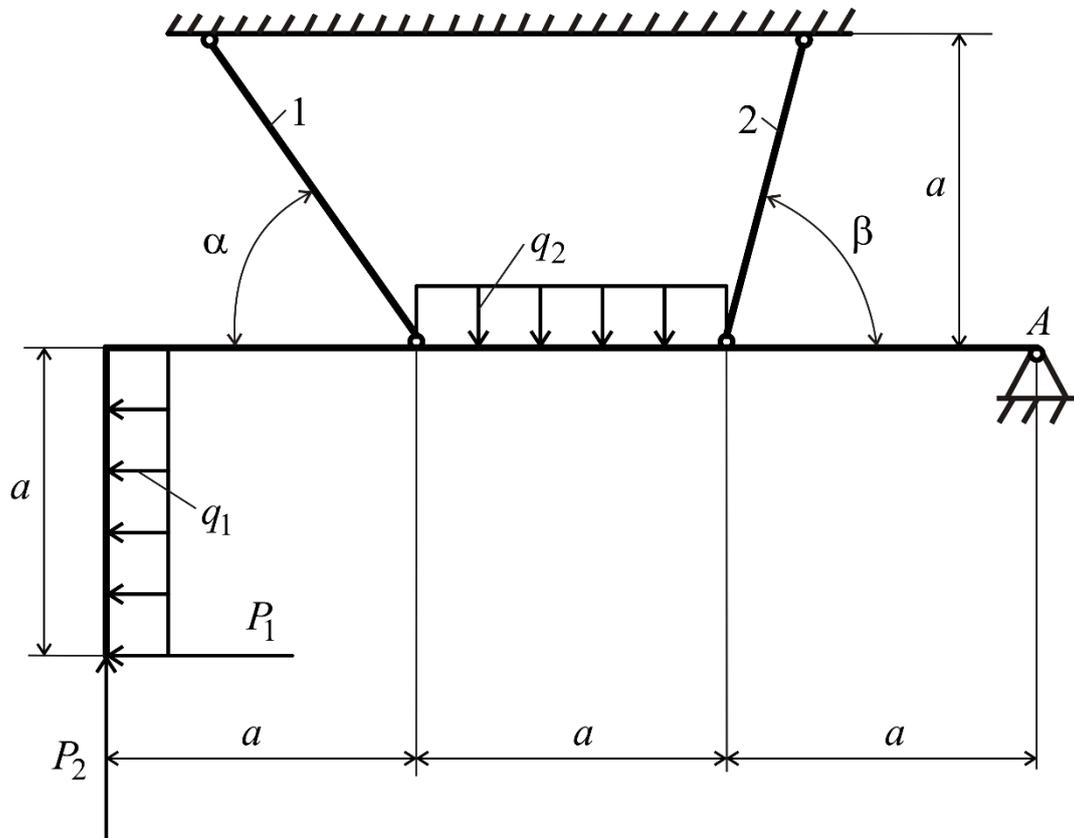
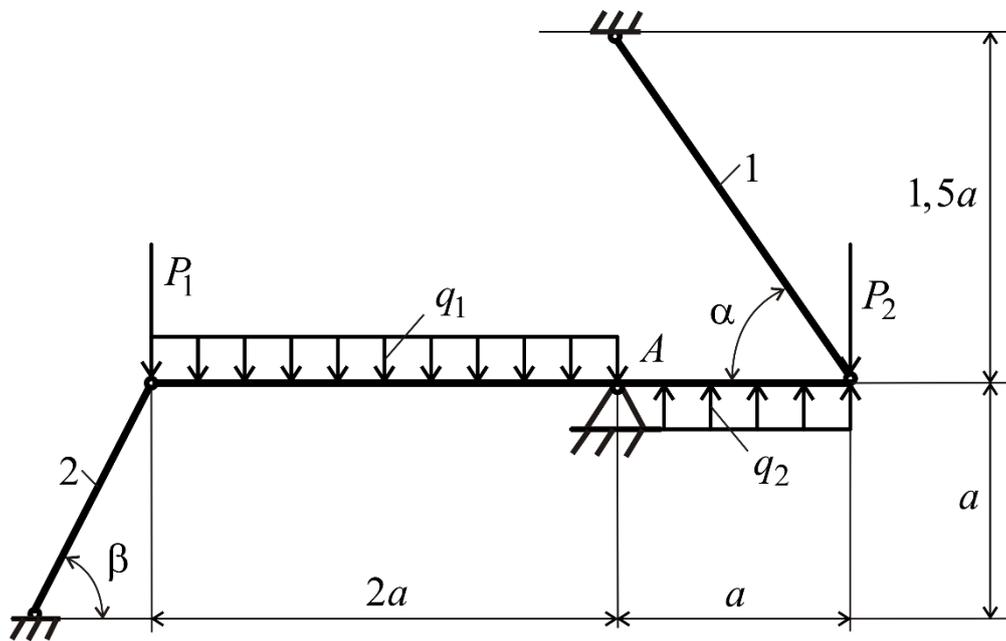


Рис. 1.3



Puc. 1.4



Puc. 1.5

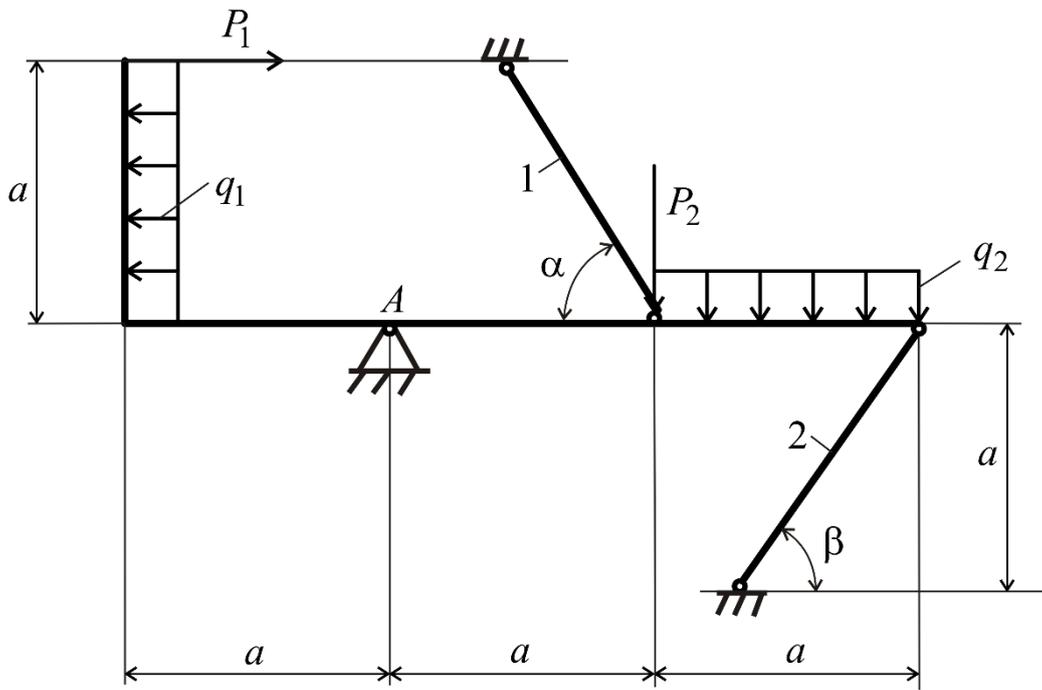


Рис. 1.6

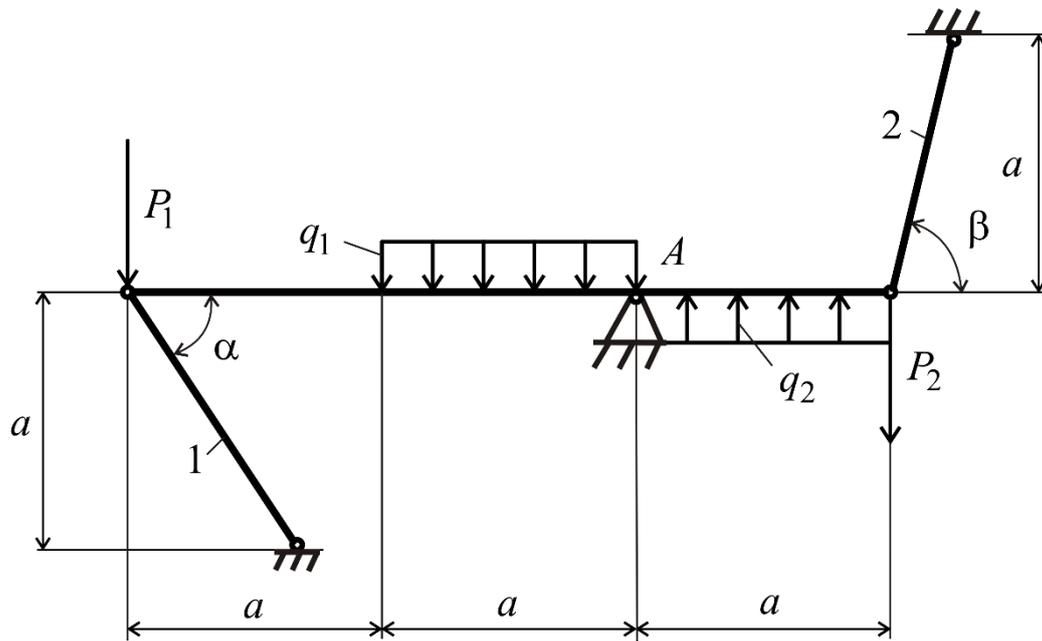


Рис. 1.7

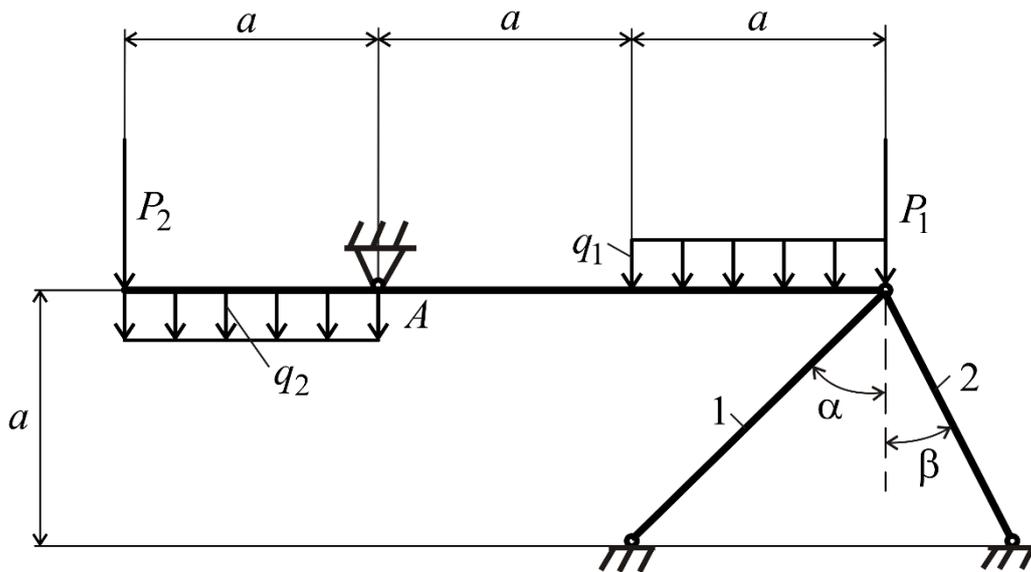


Рис. 1.8

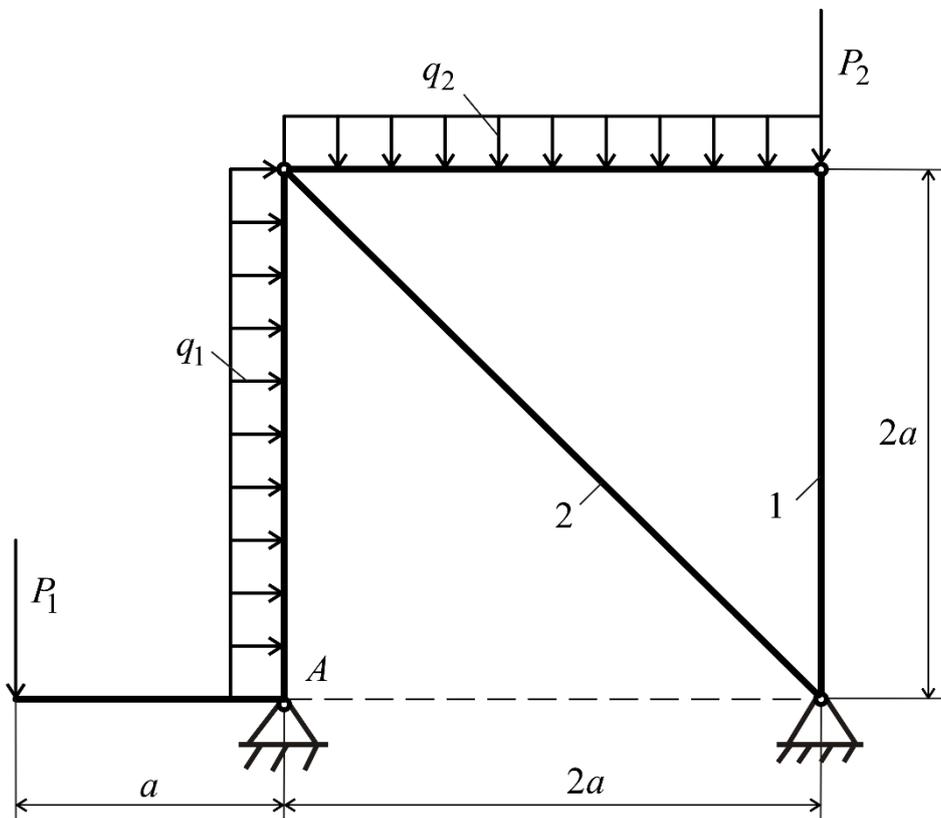


Рис. 1.9

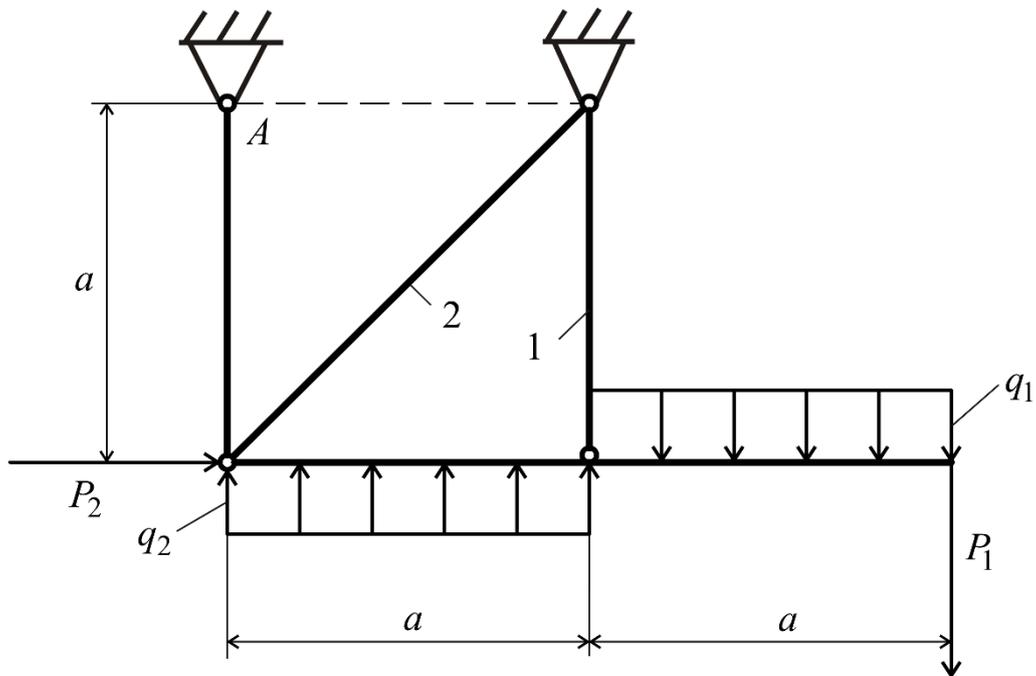


Рис. 1.10

Таблица 1.1. Числовые данные к заданию 1

| Вариант | Рисунок | P_1 | P_2 | q_1 | q_2 | α | β | a | Δt | Δ | F_1 | F_2 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|----------|---------|-----|------------|-----------------|-------|-------|
| | | кН | кН | кН/м | кН/м | ° | м | °С | мм | см ² | | |
| 1 | 1.1 | 50 | – | – | 25 | 30 | – | 2,0 | 20 | 0,5 | 8,0 | 4,5 |
| 2 | 1.1 | – | 60 | 30 | – | 45 | – | 1,9 | 30 | 0,6 | 7,0 | 5,5 |
| 3 | 1.1 | 90 | – | 40 | – | 60 | – | 1,8 | 40 | 0,4 | 6,0 | 6,5 |
| 4 | 1.1 | – | 90 | – | 40 | 90 | – | 1,7 | 25 | 0,7 | 5,0 | 7,5 |
| 5 | 1.1 | 60 | 70 | – | – | 30 | – | 1,6 | 35 | 0,75 | 4,0 | 8,5 |
| 6 | 1.2 | 75 | 50 | – | – | 30 | 0 | 1,5 | 24 | 0,8 | 4,5 | 4,0 |
| 7 | 1.2 | 65 | – | – | 20 | 30 | 60 | 1,4 | 28 | 0,35 | 5,5 | 5,0 |
| 8 | 1.2 | – | – | 45 | 30 | 60 | 30 | 1,3 | 32 | 0,45 | 6,5 | 6,0 |
| 9 | 1.2 | – | 90 | 55 | – | 45 | 45 | 1,2 | 36 | 0,3 | 7,5 | 7,0 |
| 10 | 1.2 | 95 | – | 65 | 50 | 0 | 45 | 1,1 | 42 | 0,4 | 8,5 | 8,0 |
| 11 | 1.3 | – | 75 | 55 | – | 90 | 90 | 1,0 | 40 | 0,5 | 4,5 | 8,0 |
| 12 | 1.3 | 65 | – | – | 65 | 30 | 60 | 1,1 | 38 | 0,55 | 5,5 | 7,0 |
| 13 | 1.3 | 75 | 65 | – | – | 60 | 30 | 1,2 | 32 | 0,6 | 6,5 | 6,0 |
| 14 | 1.3 | 60 | 60 | 25 | – | 45 | 45 | 1,3 | 36 | 0,4 | 7,5 | 5,0 |
| 15 | 1.3 | – | – | 60 | 50 | 90 | 60 | 1,4 | 35 | 0,7 | 8,5 | 4,0 |
| 16 | 1.4 | 90 | 100 | 50 | – | 90 | 90 | 1,5 | 30 | 0,75 | 4,0 | 4,5 |
| 17 | 1.4 | 70 | – | – | 40 | 30 | 60 | 1,6 | 25 | 0,8 | 5,0 | 5,5 |
| 18 | 1.4 | – | 90 | 30 | – | 60 | 30 | 1,7 | 20 | 0,85 | 6,0 | 6,5 |
| 19 | 1.4 | 70 | 85 | – | – | 45 | 45 | 1,8 | 30 | 0,3 | 7,0 | 7,5 |
| 20 | 1.4 | – | – | 60 | 25 | 45 | 30 | 1,9 | 40 | 0,35 | 8,0 | 8,5 |
| 21 | 1.5 | 95 | – | – | 20 | 90 | 90 | 2,0 | 42 | 0,4 | 5,0 | 4,5 |
| 22 | 1.5 | – | 70 | 30 | – | 45 | 45 | 2,1 | 45 | 0,45 | 6,0 | 7,5 |
| 23 | 1.5 | – | – | 35 | 30 | 60 | 30 | 2,0 | 30 | 0,5 | 4,0 | 4,5 |
| 24 | 1.5 | 80 | 60 | – | – | 30 | 60 | 1,9 | 28 | 0,6 | 4,5 | 5,0 |

| Вариант | Рисунок | P_1 | P_2 | q_1 | q_2 | α | β | a | Δt | Δ | F_1 | F_2 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|----------|---------|-----|------------|----------|-----------------|-------|
| | | кН | | кН/м | | ° | | м | °С | мм | см ² | |
| 25 | 1.5 | – | 55 | 25 | 60 | 90 | 45 | 1,8 | 32 | 0,4 | 5,5 | 6,5 |
| 26 | 1.6 | 70 | – | – | 55 | 90 | 90 | 1,7 | 25 | 0,3 | 6,5 | 4,0 |
| 27 | 1.6 | – | 60 | 45 | – | 45 | 45 | 1,6 | 30 | 0,35 | 7,0 | 4,5 |
| 28 | 1.6 | – | – | 50 | 45 | 30 | 60 | 1,5 | 28 | 0,6 | 8,0 | 4,0 |
| 29 | 1.6 | 55 | 70 | – | – | 60 | 30 | 1,4 | 32 | 0,65 | 8,5 | 5,0 |
| 30 | 1.6 | 50 | 75 | – | 35 | 90 | 45 | 1,3 | 36 | 0,5 | 7,5 | 4,0 |
| 31 | 1.7 | 70 | – | – | 30 | 90 | 90 | 1,2 | 38 | 0,55 | 6,0 | 5,5 |
| 32 | 1.7 | – | 85 | 35 | – | 45 | 45 | 1,1 | 40 | 0,4 | 6,5 | 5,0 |
| 33 | 1.7 | – | – | 40 | 20 | 30 | 60 | 1,0 | 42 | 0,45 | 5,5 | 4,5 |
| 34 | 1.7 | 60 | 95 | – | – | 60 | 30 | 0,9 | 28 | 0,5 | 4,0 | 8,0 |
| 35 | 1.7 | 75 | – | 50 | 40 | 90 | 45 | 1,0 | 26 | 0,55 | 7,0 | 6,5 |
| 36 | 1.8 | 65 | – | – | 50 | 0 | 45 | 1,1 | 25 | 0,6 | 6,5 | 7,0 |
| 37 | 1.8 | – | 85 | 40 | – | 45 | 0 | 1,2 | 20 | 0,65 | 4,5 | 5,0 |
| 38 | 1.8 | – | – | 35 | 60 | 45 | 45 | 1,3 | 22 | 0,7 | 5,0 | 4,0 |
| 39 | 1.8 | 95 | 75 | – | – | 60 | 30 | 1,4 | 24 | 0,75 | 8,0 | 4,5 |
| 40 | 1.8 | 90 | 70 | 25 | – | 30 | 60 | 1,5 | 30 | 0,8 | 8,5 | 5,0 |
| 41 | 1.9 | 85 | – | – | 40 | – | – | 1,6 | 32 | 0,85 | 7,5 | 6,0 |
| 42 | 1.9 | – | 60 | 30 | – | – | – | 1,7 | 28 | 0,9 | 6,5 | 5,0 |
| 43 | 1.9 | – | – | 35 | 30 | – | – | 1,8 | 36 | 0,6 | 5,0 | 4,0 |
| 44 | 1.9 | 70 | 50 | – | – | – | – | 1,9 | 38 | 0,65 | 4,5 | 5,0 |
| 45 | 1.9 | 65 | – | – | 40 | – | – | 2,0 | 35 | 0,5 | 8,0 | 7,0 |
| 46 | 1.10 | 60 | – | – | 45 | – | – | 2,1 | 33 | 0,55 | 7,5 | 5,5 |
| 47 | 1.10 | – | 65 | 40 | – | – | – | 1,9 | 30 | 0,4 | 6,5 | 6,0 |
| 48 | 1.10 | – | – | 35 | 55 | – | – | 1,8 | 28 | 0,7 | 5,0 | 4,5 |
| 49 | 1.10 | 60 | 80 | – | – | – | – | 1,7 | 25 | 0,75 | 6,0 | 7,0 |
| 50 | 1.10 | 65 | – | 25 | 60 | – | – | 1,6 | 20 | 0,8 | 8,5 | 4,0 |

Рассмотрим пример выполнения задания. Абсолютно жесткий брус AC , который имеет шарнирно-неподвижную опору в точке A , поддерживается двумя стальными стержнями 1 и 2 и загружен на участке BC распределенной нагрузкой $q = 200$ кН/м. Температура стержня 1 в период эксплуатации может повышаться на $\Delta t = 35^\circ C$. Стержень 2 выполнен короче проектного размера на $\Delta = 1$ мм, но при монтаже зазор закрывается. Определить усилия в стержнях 1 и 2. При расчете принять $a = 1$ м, $h = 0,8$ м, $F_1 = 6$ см², $F_2 = 9$ см², $E = 210$ ГПа, $\alpha = 125$ 1/град. Расчетная схема изображена на рис. 1.11.

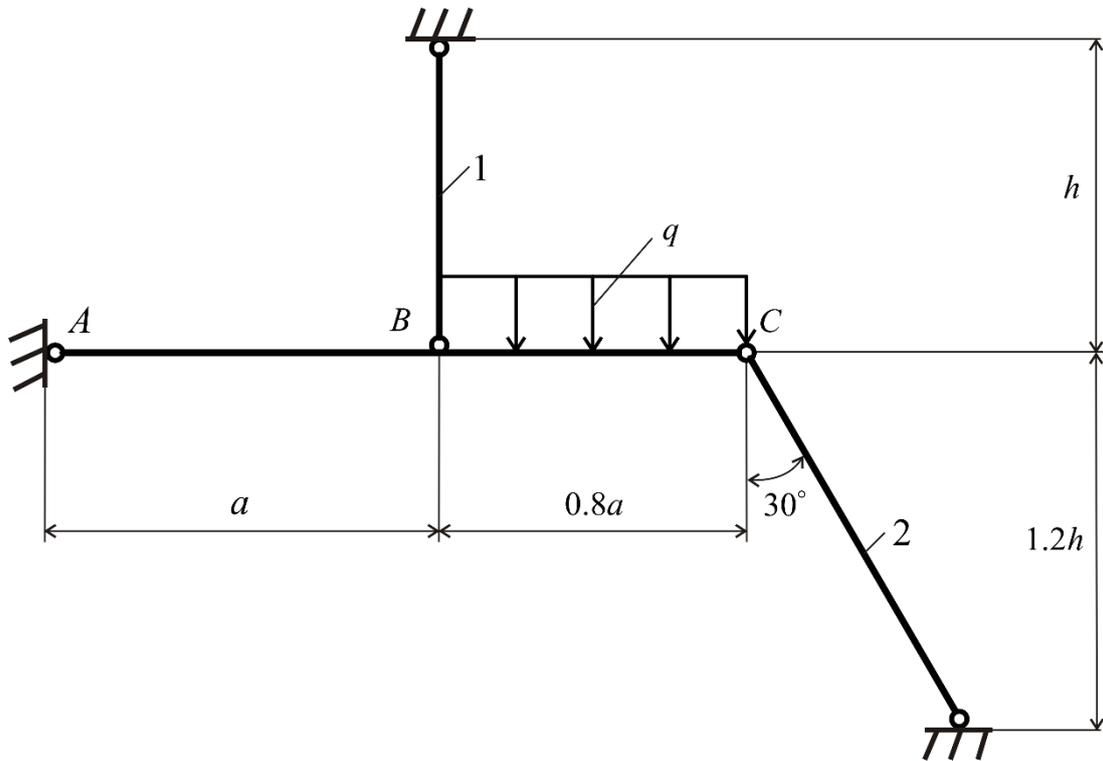


Рис. 1.11

Обозначим неизвестные усилия в стержнях N_1 и N_2 , опорные реакции X_A , Y_A , то есть в данной задаче число неизвестных составляет $n = 4$. Система сил произвольно расположена в плоскости, для нее можно составить три уравнения равновесия, следовательно $n_{cm} = 3$. Степень статической неопределимости

$$C = n - n_{cm} = 1.$$

Таким образом, задача один раз статически неопределима.

Составим уравнения равновесия

$$\Sigma M_A = 0,$$

$$N_1 \cdot a - N_2 \cdot 1,8a \cdot \cos 30^\circ - q \cdot 0,8a \cdot 1,4a = 0,$$

$$N_1 - 1,56 \cdot N_2 - 1,12 \cdot qa = 0. \quad (1.2)$$

Для составления дополнительного уравнения рассмотрим деформацию системы, представленную на рис. 1.12.

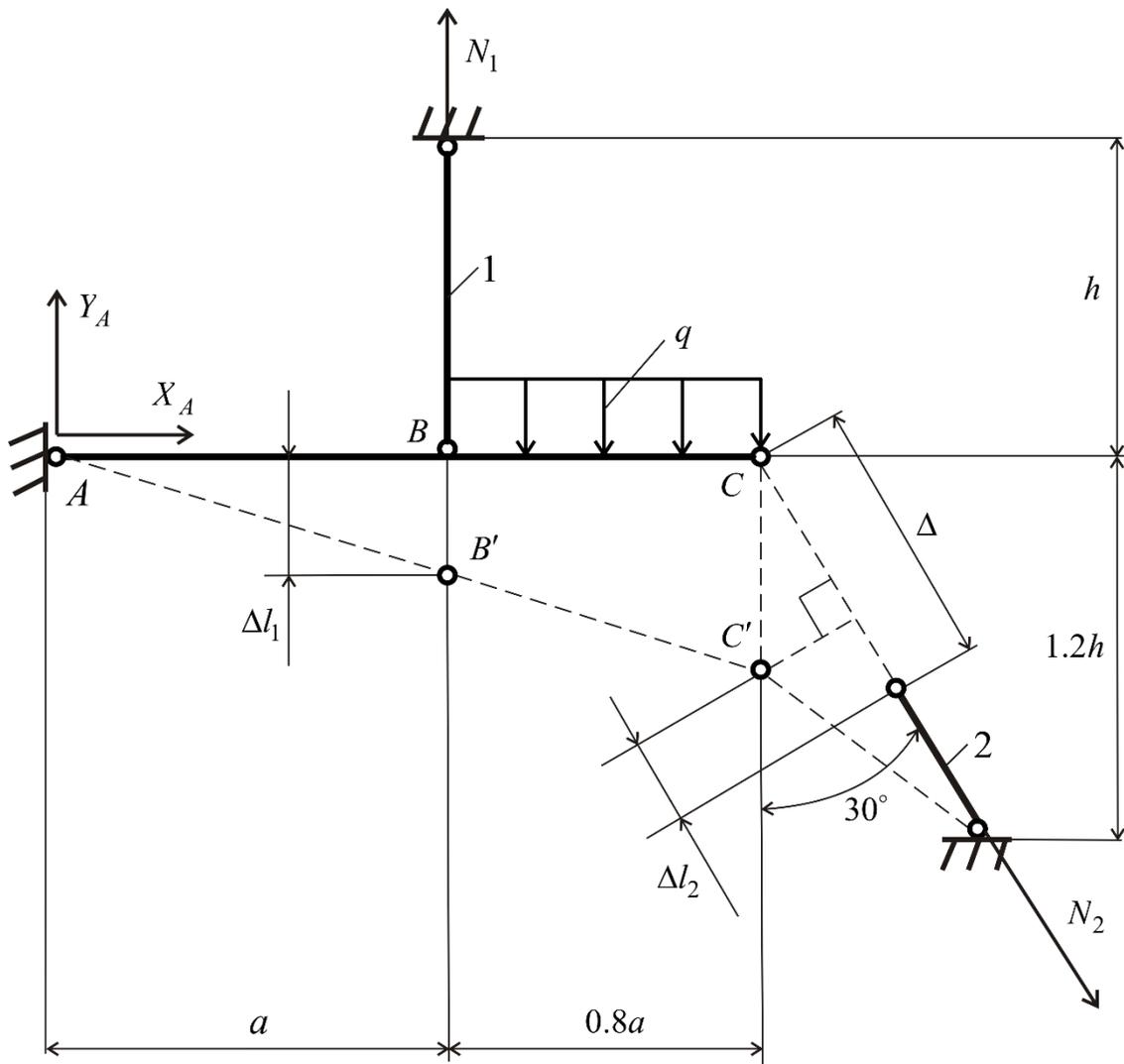


Рис. 1.12

Будем считать, что точки B и C при этом перемещаются вертикально вниз. Тогда из подобия треугольников можно записать:

$$\frac{BB'}{a} = \frac{CC'}{1,8a}.$$

Выразим перемещения BB' и CC' через деформации стержней

$$BB' = \Delta l_1 = \Delta l_1^N + \Delta l_1^t,$$

$$CC' = \frac{\Delta - \Delta l_2}{\cos 30^\circ},$$

где Δl_1^N – деформация стержня 1 под действием возникающей в нем продольной силы N_1 , Δl_1^t – деформация стержня 1 под действием температуры, Δ – отклонение от проектного размера длины стержня 2, $\Delta l_2 = \Delta l_2^N$ – деформация стержня 2 под действием возникающей в нем продольной силы N_2 . Таким образом, связь между деформациями стержней 1 и 2 имеет вид:

$$\frac{\Delta l_1^N + \Delta l_1^t}{a} = \frac{\Delta - \Delta l_2^N}{1,8a \cdot \cos 30^\circ}. \quad (1.3)$$

Представим уравнение (1.3) в физической форме с учетом следующих выражений:

$$\Delta l_1^N = \frac{N_1 l_1}{EF_1}, \quad \Delta l_1^t = \alpha \Delta t \cdot h, \quad \Delta l_2^N = \frac{N_2 \cdot 1,2h}{EF_2 \cos 30^\circ}.$$

В результате получим

$$\frac{1}{a} \left(\frac{N_1 l_1}{EF_1} + \alpha \Delta t \cdot h \right) = \frac{1}{1,8a \cdot \cos 30^\circ} \left(\Delta - \frac{N_2 \cdot 1,2h}{EF_2 \cos 30^\circ} \right),$$

$$N_1 + 0,6N_2 - 46 \cdot 10^3 = 0. \quad (1.4)$$

Таким образом, получим систему двух уравнений (1.2) и (1.4), которые содержат два неизвестных усилия N_1 и N_2 . Решая эту систему, получим:

$$N_1 = 95,8 \text{ кН}, \quad N_2 = -82,5 \text{ кН}.$$

Задание 2. Подбор сечения балки

Для стальной балки, представленной на рис. 2.4–2.6 требуется построить эпюры Q и M , а также подобрать двутавровое сечение. Допускаемые напряжения $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$, $[\tau] = 100 \text{ МПа}$.

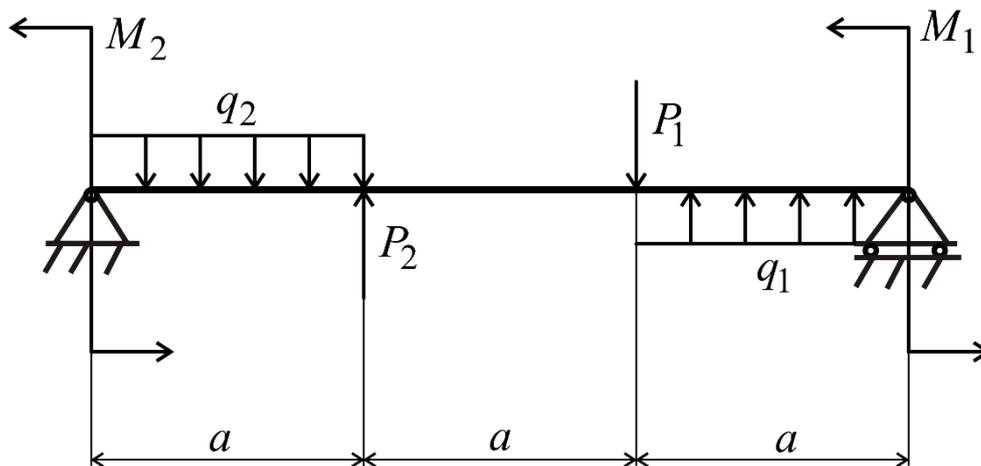


Рис. 2.4

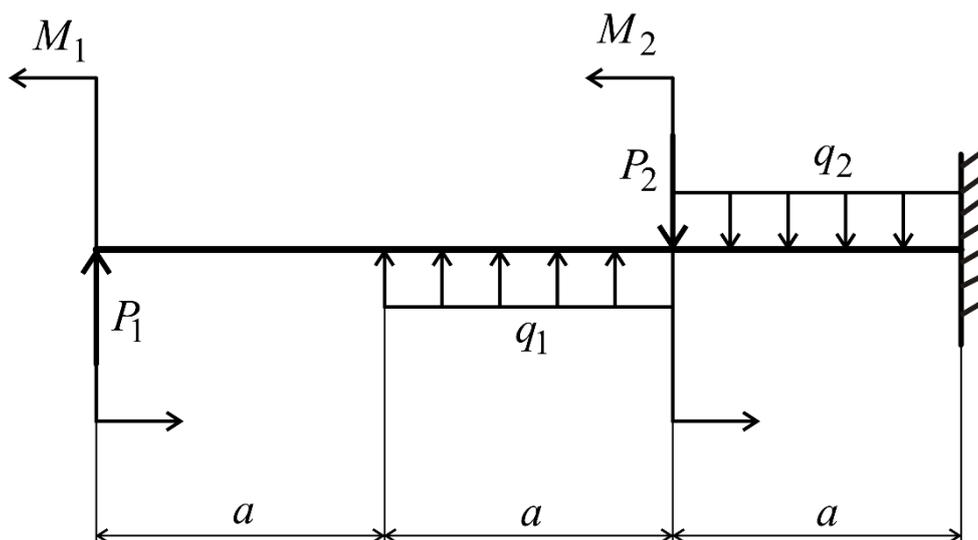


Рис. 2.5

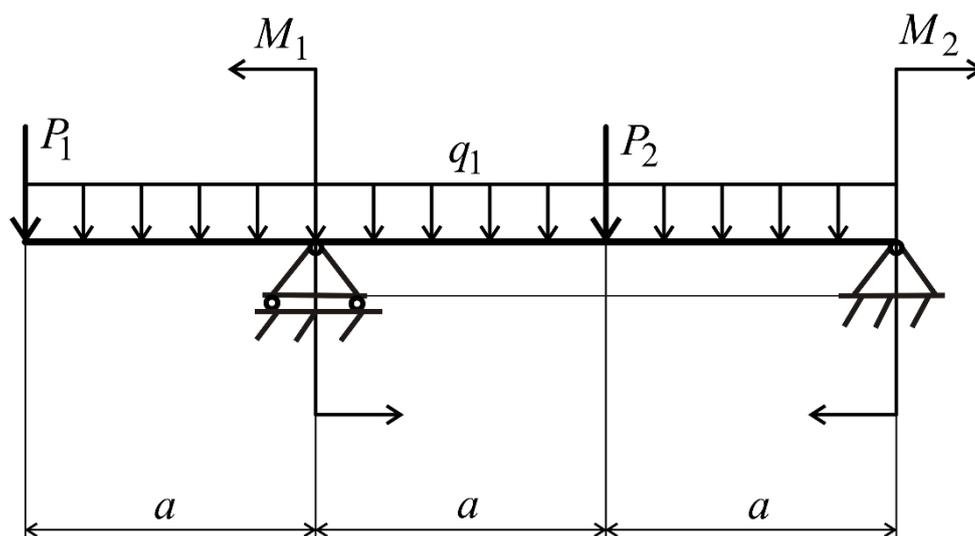


Рис. 2.6

Данные для расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2. Числовые данные к заданию 2

| Вариант | Рисунок | M_1 | M_2 | q_1 | q_2 | P_1 | P_2 | a , м |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | | кН·м | | кН/м | | кН | | |
| 1 | 2.4 | 55 | – | 20 | – | 35 | – | 1,0 |
| 2 | 2.4 | – | 25 | 10 | 50 | – | 40 | 1,1 |
| 3 | 2.4 | – | 40 | – | 35 | 20 | – | 1,2 |
| 4 | 2.4 | – | 40 | – | 30 | – | 25 | 1,3 |
| 5 | 2.4 | – | 30 | 35 | – | – | 50 | 1,4 |
| 6 | 2.4 | 60 | – | 35 | – | 10 | – | 1,5 |
| 7 | 2.4 | 40 | – | – | 50 | – | 15 | 1,4 |
| 8 | 2.4 | – | 30 | 20 | – | – | 15 | 1,3 |

| Вариант | Рисунок | M_1 | M_2 | q_1 | q_2 | P_1 | P_2 | a , м |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | | кН·м | | кН/м | | кН | | |
| 9 | 2.4 | – | 25 | 35 | – | – | 35 | 1,2 |
| 10 | 2.4 | – | 35 | 30 | – | 50 | – | 1,1 |
| 11 | 2.4 | – | 55 | – | 10 | – | 15 | 1,0 |
| 12 | 2.4 | 35 | – | – | 40 | – | 40 | 0,9 |
| 13 | 2.4 | – | 35 | 10 | – | 35 | – | 2,0 |
| 14 | 2.4 | – | 30 | – | 40 | 20 | – | 1,9 |
| 15 | 2.4 | 20 | – | 35 | – | – | 35 | 1,8 |
| 16 | 2.4 | 30 | – | – | 10 | 20 | – | 1,7 |
| 17 | 2.4 | 40 | – | 30 | – | – | 20 | 1,8 |
| 18 | 2.4 | – | 25 | – | 45 | 50 | – | 1,9 |
| 19 | 2.4 | – | 25 | 50 | – | 20 | – | 2,0 |
| 20 | 2.4 | 40 | – | 50 | – | 50 | – | 2,1 |
| 21 | 2.5 | – | 60 | 35 | – | 50 | – | 2,2 |
| 22 | 2.5 | – | 20 | – | 50 | – | 25 | 2,3 |
| 23 | 2.5 | 30 | – | 20 | – | – | 45 | 2,4 |
| 24 | 2.5 | – | 20 | 30 | – | 30 | – | 2,5 |
| 25 | 2.5 | 55 | – | – | 10 | – | 25 | 2,6 |
| 26 | 2.5 | – | 40 | 45 | – | – | 20 | 2,7 |
| 27 | 2.5 | – | 35 | – | 10 | 20 | – | 2,8 |
| 28 | 2.5 | 20 | – | – | 15 | 35 | – | 2,9 |
| 29 | 2.5 | 30 | – | – | 30 | – | 50 | 3,0 |
| 30 | 2.5 | 50 | – | – | 15 | – | 40 | 3,1 |
| 31 | 2.5 | 30 | – | – | 50 | 40 | – | 3,2 |
| 32 | 2.5 | 45 | – | 50 | – | – | 30 | 3,0 |
| 33 | 2.5 | 35 | – | – | 25 | 35 | – | 2,9 |
| 34 | 2.5 | 55 | – | – | 50 | – | 40 | 2,8 |
| 35 | 2.5 | – | 20 | – | 30 | 45 | – | 2,7 |
| 36 | 2.5 | 55 | – | 45 | – | – | 50 | 2,5 |
| 37 | 2.5 | – | 30 | – | 30 | – | 40 | 2,4 |
| 38 | 2.5 | – | 45 | – | 25 | – | 40 | 2,3 |
| 39 | 2.5 | 60 | – | – | 20 | – | 45 | 2,2 |
| 40 | 2.5 | 30 | – | 15 | – | 10 | – | 2,1 |
| 41 | 2.6 | 60 | – | 30 | – | 50 | – | 2,0 |
| 42 | 2.6 | 45 | – | – | 25 | – | 45 | 1,9 |
| 43 | 2.6 | 30 | – | – | 20 | – | 50 | 1,8 |
| 44 | 2.6 | 40 | – | 25 | – | 30 | – | 1,7 |
| 45 | 2.6 | – | 55 | – | 15 | – | 10 | 1,6 |
| 46 | 2.6 | 40 | – | 30 | – | – | 40 | 1,5 |
| 47 | 2.6 | – | 35 | 10 | – | – | 10 | 1,4 |
| 48 | 2.6 | – | 25 | – | 10 | – | 35 | 1,3 |
| 49 | 2.6 | – | 55 | 25 | – | 35 | – | 1,2 |
| 50 | 2.6 | 30 | – | 10 | – | 40 | – | 1,1 |

Приведем пример выполнения задания. Рассмотрим балку, нагруженную силой $P = 40$ кН и распределенной нагрузкой интенсивностью $q = 30$ кН/м.

Геометрические размеры балки $a=0,8$ м, $l=4$ м. Допускаемые напряжения $[\sigma]=160$ МПа, $[\tau]=100$ МПа. Схема нагружения балки представлена на рис. 2.7.

Определить номер двутавровой балки.

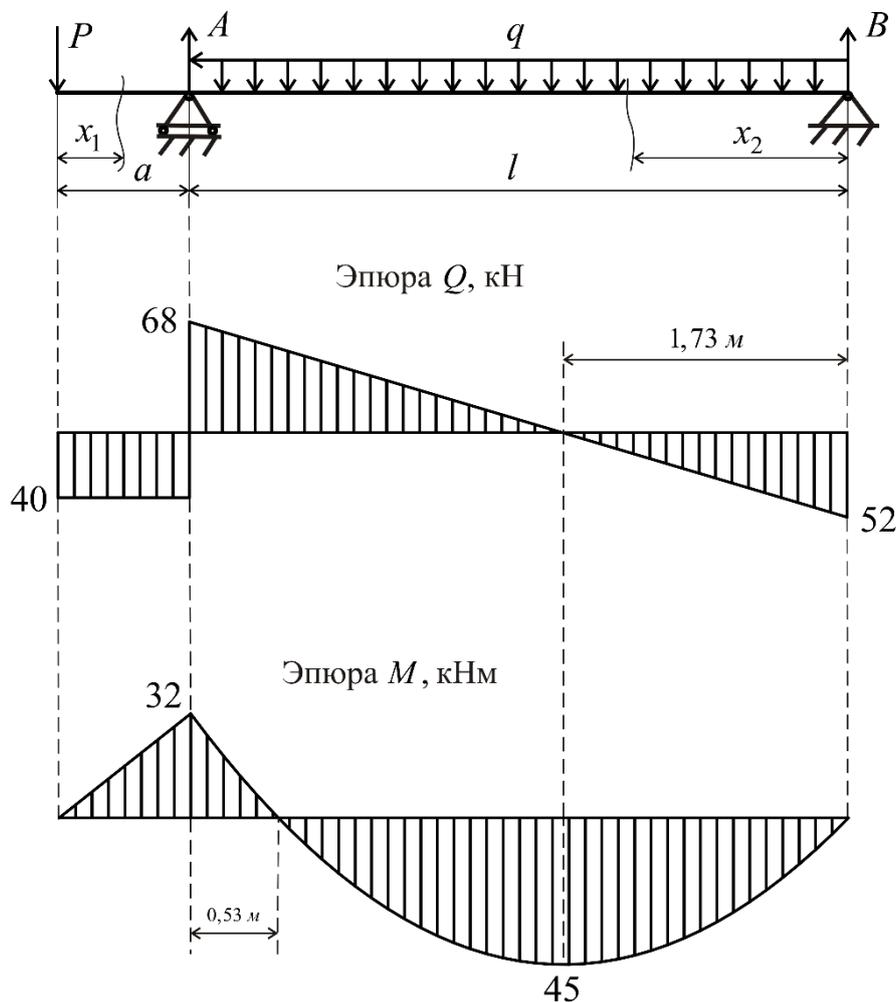


Рис.2.7. Расчетная схема балки, эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

Определим опорные реакции:

$$A = \frac{P(a+l) + \frac{1}{2}ql^2}{l} = 108 \text{ кН},$$

$$B = \frac{\frac{1}{2}ql^2 - Pa}{l} = 52 \text{ кН}.$$

Для построения эпюр Q и M рассмотрим участок балки, на котором $0 \leq x_1 \leq a$. Имеем:

$$Q(x_1) = -P = -40 \text{ кН}, \quad M(x_1) = -Px_1 = -40x_1,$$

$$M(x_1=0) = 0, \quad M(x_1=a) = -40 \cdot 0,8 = -32 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

В пролете между опорами $0 \leq x_2 \leq l$:

$$Q(x_2) = -B + qx_2 = -52 + 30x_2,$$

$$Q(x_2 = 0) = -52 \text{ кН}, \quad Q(x_2 = l) = -52 + 30 \cdot 4 = 68 \text{ кН},$$

$$M(x_2) = Bx_2 - \frac{q}{2}x_2^2 = 52x_2 - 15x_2^2,$$

$$M(x_2 = 0) = 0, \quad M(x_2 = l) = 52 \cdot 4 - 15 \cdot 16 = -32 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Поскольку $Q(x_2) = -52 + 30x_2 = 0$ при $x_2 = \frac{52}{30} \approx 1,73$ м, то

$M_{\max} = 52 \cdot 1,73 - 15 \cdot 1,73^2 \approx 45$ кН·м. Также заметим, что $M(x_2) = 52x_2 - 15x_2^2 = 0$, когда $x_2 \approx 3,47$ м. По этим данным на рис. 2.7 построены эпюры Q и M .

Проведем подбор сечения двутавровой балки. Так как $M_{\max} = 45$ кН·м, то

$$W = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{45 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} \approx 2,81 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 281 \text{ см}^3.$$

По сортаменту для двутавра № 22А находим $W = 254 \text{ см}^3$. Оценим погрешность:

$$\delta = \frac{\sigma_{\max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100\% = \frac{W - W_{\text{№}22\text{А}}}{W_{\text{№}22\text{А}}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{281 - 254}{254} \cdot 100\% = 10,6\% > 5\% \text{ (перенапряжение).}$$

Для двутавра № 24 имеем $W = 289 \text{ см}^3$. Тогда

$$\delta = \frac{\sigma_{\max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100\% = \frac{W - W_{\text{№}24}}{W_{\text{№}24}} \cdot 100\% \approx -2,77\% \text{ (недонапряжение).}$$

Окончательно выбираем двутавр № 24, для которого $W = 289 \text{ см}^3$, $J = 3460 \text{ см}^4$, $S_0 = 163 \text{ см}^3$, $h = 24 \text{ см}$, $b = 11,5 \text{ см}$, $t = 0,95 \text{ см}$, $d = b_0 = 0,56 \text{ см}$.

Этот двутавр будет работать при максимальном нормальном напряжении в крайнем волокне опасного сечения:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \approx 156 \text{ МПа.}$$

Выполним проверку сечения балки по касательным напряжениям. Поскольку $Q_{\max} = 68 \text{ кН}$, то

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_0}{b_0 J} = \frac{68 \cdot 10^3 \cdot 163 \cdot 10^{-6}}{0,56 \cdot 10^{-2} \cdot 3460 \cdot 10^{-8}} \approx 57 \text{ МПа} < [\tau].$$

Следовательно, выбранный двутавр № 24 будет прочен и по нормальным и по касательным напряжениям.

Задание 3.
Применение метода начальных параметров
к раскрытию статически неопределимой балки.

Для балки постоянного сечения, представленной на рис. 3.2 – 3.4, найти опорные реакции, построить эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и упругую линию балки. Жесткость балки на изгиб принять равной EI .

При раскрытии статической неопределимости применить метод начальных параметров. Данные для расчета приведены в таблице 3.

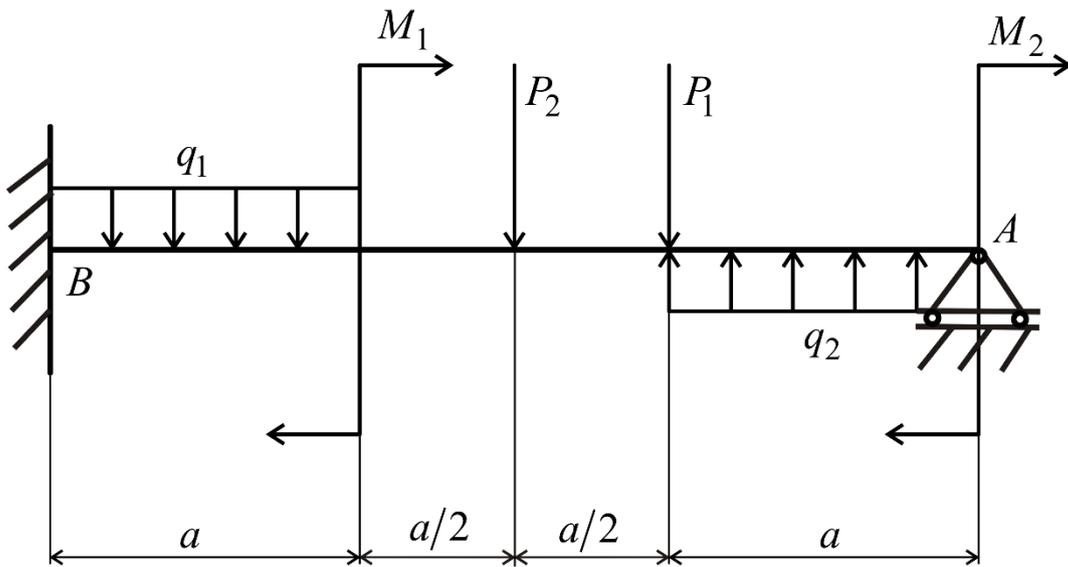


Рис. 3.2

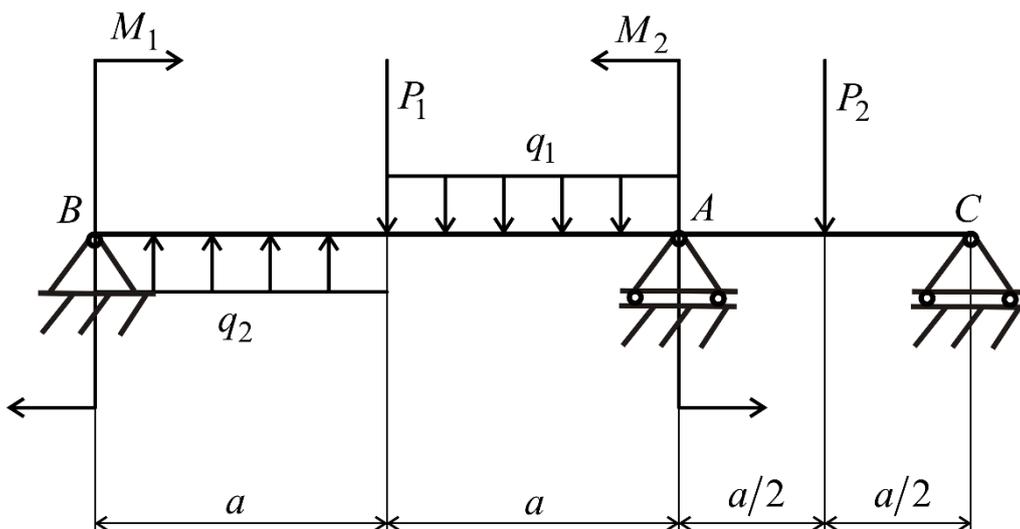


Рис. 3.3

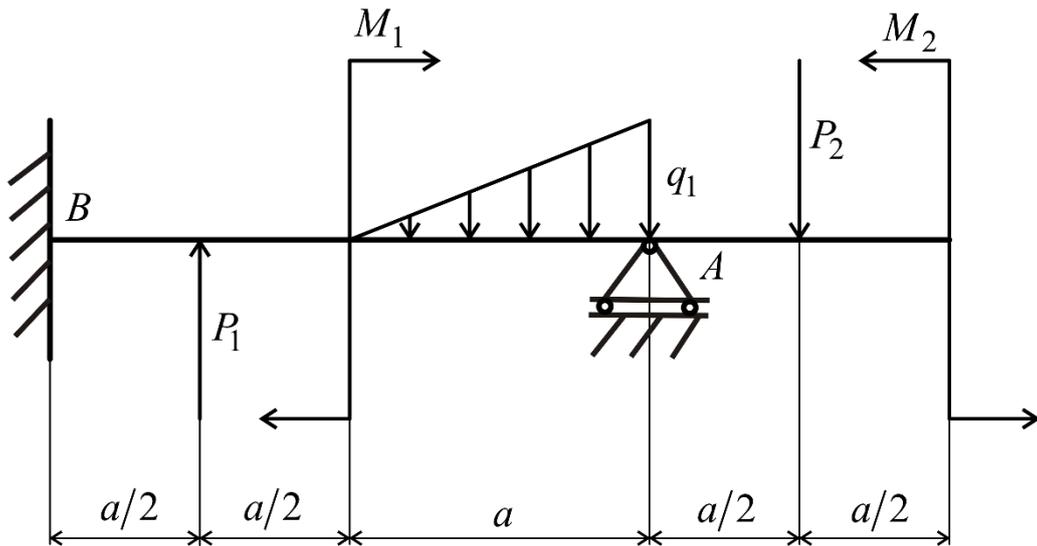


Рис. 3.4

Таблица 3. Числовые значения к заданию 3

| Вариант | Рисунок | P_1 | P_2 | q_1 | q_2 | M_1 | M_2 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| 1 | 3.2 | – | $2qa$ | $2q$ | – | $2qa^2$ | – |
| 2 | 3.2 | qa | – | – | $2q$ | – | $2qa^2$ |
| 3 | 3.2 | qa | – | q | – | – | $2qa^2$ |
| 4 | 3.2 | – | $2qa$ | $2q$ | – | – | qa^2 |
| 5 | 3.2 | qa | – | $2q$ | – | qa^2 | – |
| 6 | 3.2 | – | $2qa$ | – | q | – | $2qa^2$ |
| 7 | 3.2 | – | $2qa$ | – | q | – | $2qa^2$ |
| 8 | 3.2 | qa | – | $2q$ | – | $2qa^2$ | – |
| 9 | 3.2 | – | $2qa$ | $2q$ | – | qa^2 | – |
| 10 | 3.2 | $2qa$ | – | – | $2q$ | $2qa^2$ | – |
| 11 | 3.2 | $2qa$ | – | – | $2q$ | – | qa^2 |
| 12 | 3.2 | qa | – | q | – | – | qa^2 |
| 13 | 3.2 | – | $2qa$ | – | $2q$ | – | $2qa^2$ |
| 14 | 3.2 | $2qa$ | – | – | $2q$ | – | $2qa^2$ |
| 15 | 3.2 | qa | – | – | q | qa^2 | – |
| 16 | 3.2 | – | qa | q | – | $2qa^2$ | – |

| Вариант | Рисунок | P_1 | P_2 | q_1 | q_2 | M_1 | M_2 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| 17 | 3.2 | – | qa | q | – | qa^2 | – |
| 18 | 3.2 | $2qa$ | – | – | $2q$ | qa^2 | – |
| 19 | 3.2 | – | $2qa$ | – | q | qa^2 | – |
| 20 | 3.2 | $2qa$ | – | – | q | qa^2 | – |
| 21 | 3.3 | $2qa$ | – | q | – | – | $2qa^2$ |
| 22 | 3.3 | qa | – | $2q$ | – | $2qa^2$ | – |
| 23 | 3.3 | – | $2qa$ | $2q$ | – | – | qa^2 |
| 24 | 3.3 | – | qa | $2q$ | – | – | qa^2 |
| 25 | 3.3 | qa | – | – | $2q$ | – | qa^2 |
| 26 | 3.3 | – | qa | – | q | – | $2qa^2$ |
| 27 | 3.3 | – | qa | q | – | – | qa^2 |
| 28 | 3.3 | – | $2qa$ | – | q | qa^2 | – |
| 29 | 3.3 | – | $2qa$ | – | q | – | qa^2 |
| 30 | 3.3 | – | $2qa$ | $2q$ | – | – | $2qa^2$ |
| 31 | 3.3 | qa | – | – | $2q$ | – | qa^2 |
| 32 | 3.3 | – | qa | $2q$ | – | – | $2qa^2$ |
| 33 | 3.3 | qa | | – | q | qa^2 | – |
| 34 | 3.3 | – | $2qa$ | | $2q$ | $2qa^2$ | – |
| 35 | 3.3 | $2qa$ | – | q | – | – | qa^2 |
| 36 | 3.3 | – | $2qa$ | q | – | – | qa^2 |
| 37 | 3.3 | – | $2qa$ | $2q$ | – | – | qa^2 |
| 38 | 3.3 | qa | – | – | $2q$ | – | $2qa^2$ |
| 39 | 3.3 | – | qa | – | q | qa^2 | – |
| 40 | 3.3 | qa | – | q | – | – | $2qa^2$ |
| 41 | 3.4 | – | $2qa$ | q | – | qa^2 | – |
| 42 | 3.4 | – | qa | $2q$ | – | – | $2qa^2$ |
| 43 | 3.4 | – | qa | q | – | – | $2qa^2$ |
| 44 | 3.4 | – | qa | – | q | $2qa^2$ | – |

| Вариант | Рисунок | P_1 | P_2 | q_1 | q_2 | M_1 | M_2 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| 45 | 3.4 | $2qa$ | – | – | $2q$ | – | qa^2 |
| 46 | 3.4 | – | $2qa$ | $2q$ | – | $2qa^2$ | – |
| 47 | 3.4 | qa | – | – | $2q$ | qa^2 | – |
| 48 | 3.4 | – | qa | q | – | – | qa^2 |
| 49 | 3.4 | $2qa$ | – | – | $2q$ | – | $2qa^2$ |
| 50 | 3.4 | qa | – | – | $2q$ | $2qa^2$ | – |

Задание 4.

Раскрытие статической неопределенности рамы методом сил

Построить эпюры M , Q и N для статически неопределимых рам (рис. 4.1 – 4.6). Жесткость всех участков рамы на изгиб постоянна ($EJ = \text{const}$). Численные данные для расчета приведены в таблице 4.

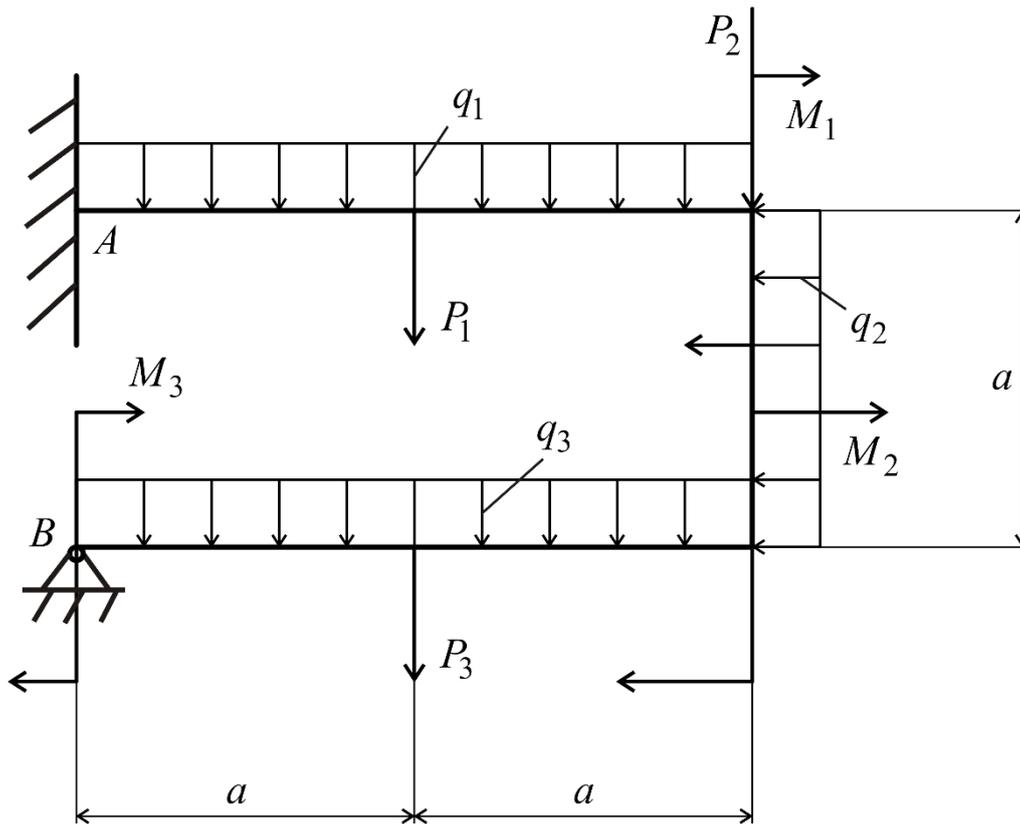


Рис. 4.1

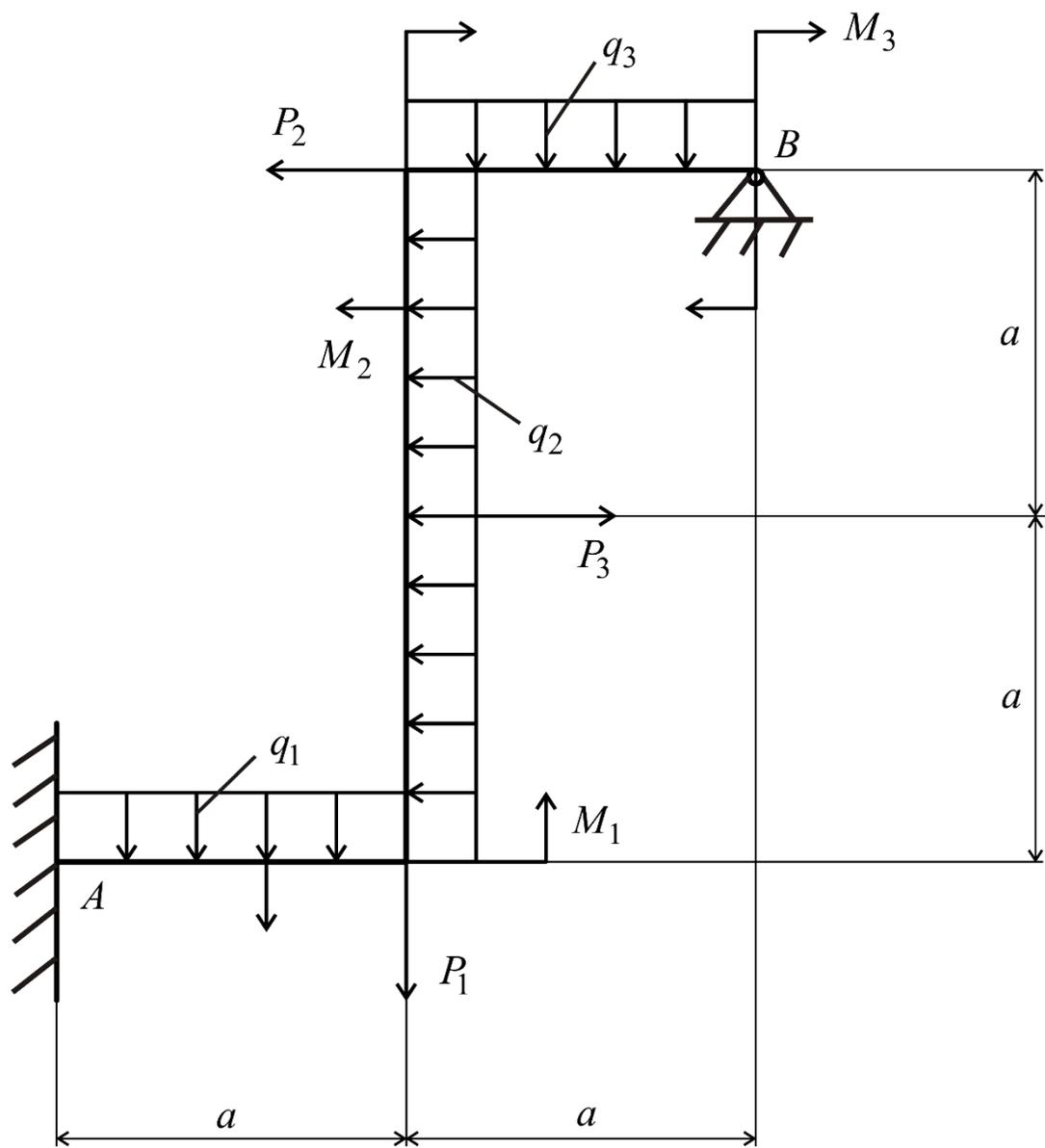


Рис. 4.2

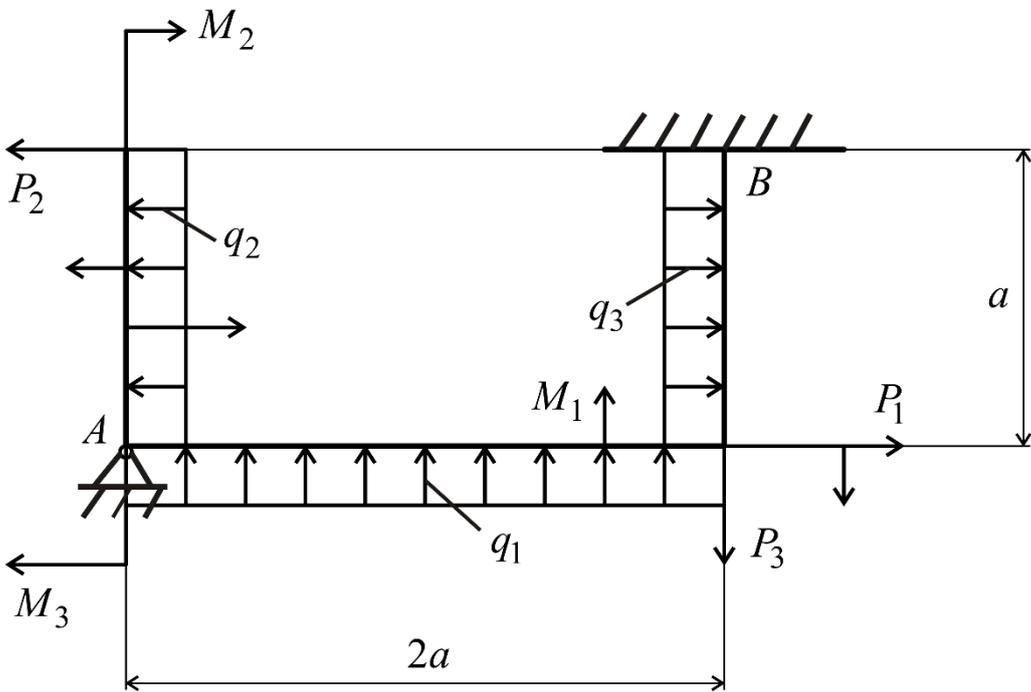
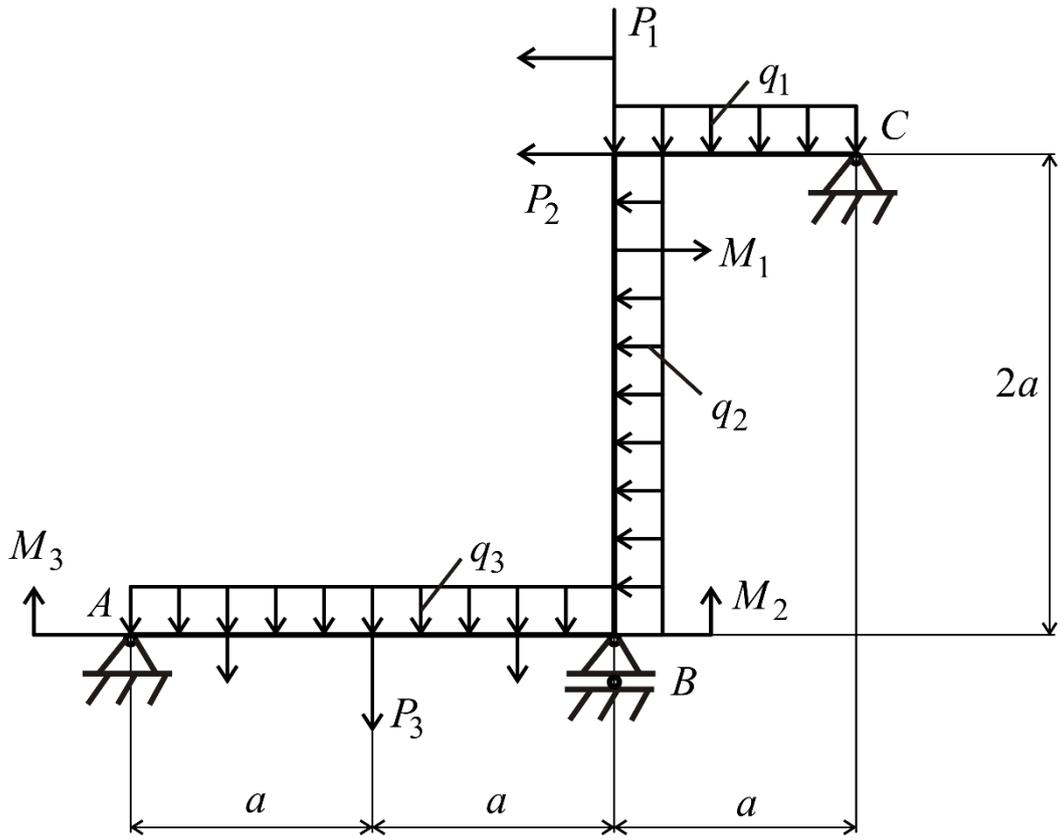


Рис. 4.4

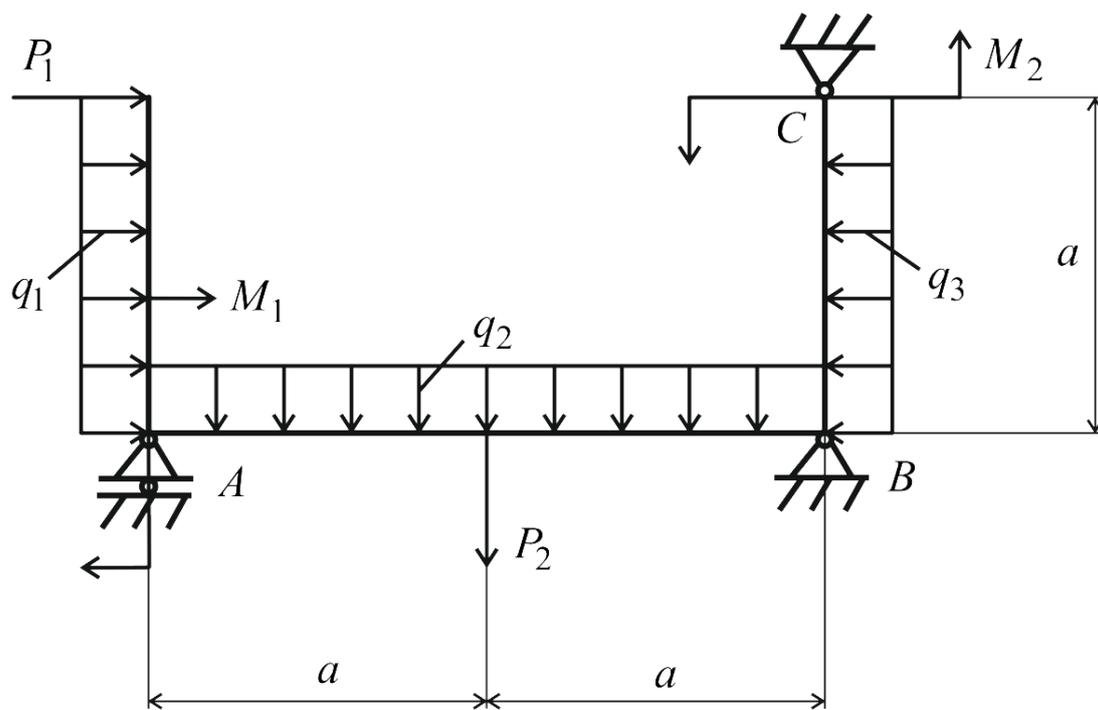


Рис. 4.5

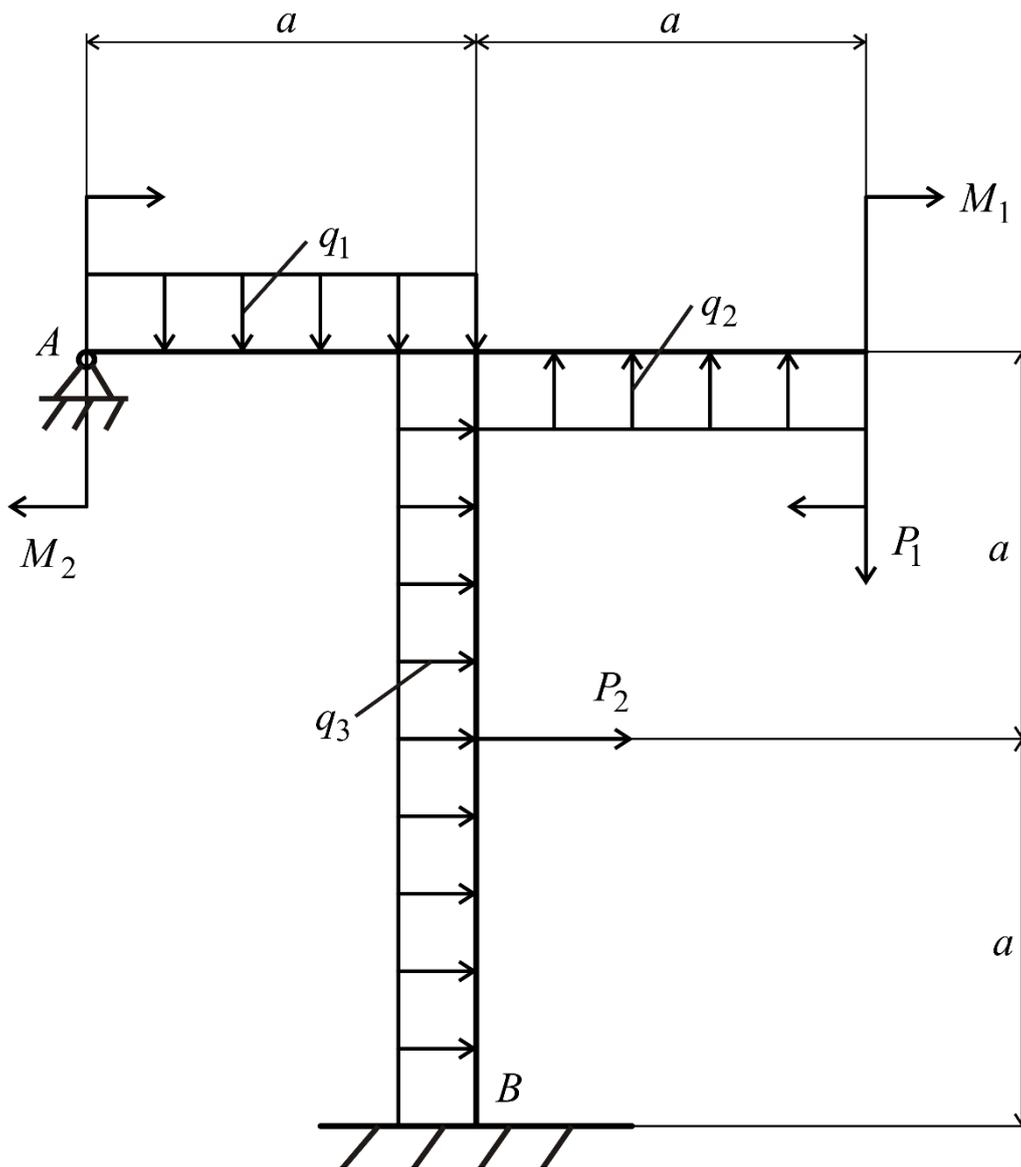


Рис. 4.6

Таблица 4. Численные данные к заданию 4

| Вариант | Рисунок | q_1 | q_2 | q_3 | P_1 | P_2 | P_3 | M_1 | M_2 | M_3 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1 | 4.1 | q | – | – | qa | – | – | – | – | qa^2 |
| 2 | 4.1 | – | q | – | qa | – | – | qa^2 | – | – |
| 3 | 4.1 | q | – | – | – | – | qa | – | qa^2 | – |
| 4 | 4.1 | – | – | q | – | qa | – | qa^2 | – | – |
| 5 | 4.1 | q | – | – | – | – | qa | – | – | qa^2 |
| 6 | 4.1 | – | – | q | – | qa | – | qa^2 | – | – |
| 7 | 4.1 | – | q | – | qa | – | – | – | qa^2 | – |
| 8 | 4.1 | – | – | q | qa | – | – | – | qa^2 | – |

| Вариант | Рисунок | q_1 | q_2 | q_3 | P_1 | P_2 | P_3 | M_1 | M_2 | M_3 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 9 | 4.1 | – | – | q | – | qa | – | – | qa^2 | – |
| 10 | 4.2 | q | – | – | – | – | qa | qa^2 | – | – |
| 11 | 4.2 | – | q | – | – | qa | – | – | – | qa^2 |
| 12 | 4.2 | – | q | – | – | – | qa | – | qa^2 | – |
| 13 | 4.2 | – | – | q | – | – | qa | qa^2 | – | – |
| 14 | 4.2 | q | – | – | – | qa | – | – | qa^2 | – |
| 15 | 4.2 | – | q | – | – | qa | – | – | qa^2 | – |
| 16 | 4.2 | – | – | q | qa | – | – | – | qa^2 | – |
| 17 | 4.2 | q | – | – | – | qa | – | – | – | qa^2 |
| 18 | 4.2 | q | – | – | – | qa | – | – | qa^2 | – |
| 19 | 4.3 | – | q | – | qa | – | – | – | qa^2 | – |
| 20 | 4.3 | – | q | – | – | – | qa | – | qa^2 | – |
| 21 | 4.3 | – | – | q | – | – | qa | – | – | qa^2 |
| 22 | 4.3 | q | – | – | – | qa | – | – | – | qa^2 |
| 23 | 4.3 | q | – | – | qa | – | – | – | qa^2 | – |
| 24 | 4.3 | – | – | q | – | qa | – | qa^2 | – | – |
| 25 | 4.3 | – | q | – | – | – | qa | qa^2 | – | – |
| 26 | 4.3 | – | q | – | qa | – | – | qa^2 | – | – |
| 27 | 4.3 | q | – | – | – | qa | – | – | – | qa^2 |
| 28 | 4.4 | – | q | – | – | qa | – | – | – | qa^2 |
| 29 | 4.4 | – | – | q | – | qa | – | – | – | qa^2 |
| 30 | 4.4 | – | q | – | – | qa | – | qa^2 | – | – |
| 31 | 4.4 | – | – | q | qa | – | – | qa^2 | – | – |
| 32 | 4.4 | q | – | – | – | qa | – | – | – | qa^2 |
| 33 | 4.4 | q | – | – | – | qa | – | – | – | qa^2 |
| 34 | 4.4 | – | q | – | qa | – | – | qa^2 | – | – |
| 35 | 4.4 | q | – | – | qa | – | – | – | – | qa^2 |
| 36 | 4.4 | – | q | – | – | – | qa | – | – | qa^2 |
| 37 | 4.5 | q | – | – | qa | – | – | – | – | qa^2 |
| 38 | 4.5 | – | q | – | – | – | qa | qa^2 | – | – |
| 39 | 4.5 | – | – | q | – | – | qa | qa^2 | – | – |

| Вариант | Рисунок | q_1 | q_2 | q_3 | P_1 | P_2 | P_3 | M_1 | M_2 | M_3 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 40 | 4.5 | – | q | – | – | – | qa | – | – | qa^2 |
| 41 | 4.5 | q | – | – | – | – | qa | qa^2 | – | – |
| 42 | 4.5 | – | q | – | qa | – | – | qa^2 | – | – |
| 43 | 4.5 | q | – | – | – | – | qa | – | – | qa^2 |
| 44 | 4.6 | – | – | q | – | qa | – | qa^2 | – | – |
| 45 | 4.6 | – | – | q | qa | – | – | qa^2 | – | – |
| 46 | 4.6 | q | – | – | qa | – | – | qa^2 | – | – |
| 47 | 4.6 | – | q | – | – | qa | – | – | – | qa^2 |
| 48 | 4.6 | q | – | – | qa | – | – | qa^2 | – | – |
| 49 | 4.6 | – | – | q | – | qa | – | qa^2 | – | – |
| 50 | 4.6 | – | q | – | – | – | qa | – | qa^2 | – |

Задание 5.
Подбор поперечного сечения колонны

Данные для расчета приведены в таблице 5.

Таблица 5. Численные данные к заданию 5

| Номер варианта | P , кН | l , м | Способ закрепления | Материал | $[\sigma]$, МПа | Форма сечения |
|----------------|----------|---------|--------------------|----------|------------------|---------------|
| 1 | 300 | 5 | ν | Ст. 5 | 200 | № 1 |
| 2 | 400 | 10 | ε | Ст. 3 | 160 | № 3 |
| 3 | 44 | 1,75 | a | Дерево | 10 | № 2 |
| 4 | 250 | 1,5 | ν | Ст. 3 | 160 | № 4 |
| 5 | 30 | 1,5 | \bar{b} | Дерево | 10 | № 5 |
| 6 | 350 | 1,6 | a | Ст. 3 | 160 | № 6 |
| 7 | 400 | 5 | \bar{b} | Ст. 5 | 200 | № 7 |
| 8 | 300 | 4 | a | Ст. 3 | 160 | № 8 |
| 9 | 50 | 2,5 | ν | Дерево | 10 | № 9 |
| 10 | 250 | 3 | a | Ст. 5 | 200 | № 10 |
| 11 | 500 | 3 | \bar{b} | Ст. 5 | 200 | № 1 |
| 12 | 400 | 5 | a | Ст. 3 | 160 | № 3 |
| 13 | 50 | 2 | ν | Дерево | 10 | № 2 |
| 14 | 300 | 7 | ε | Ст. 3 | 160 | № 4 |
| 15 | 40 | 2 | a | Дерево | 10 | № 5 |
| 16 | 250 | 3 | ν | Ст. 3 | 160 | № 6 |
| 17 | 450 | 6 | ν | Ст. 5 | 200 | № 7 |
| 18 | 350 | 5 | ε | Ст. 3 | 160 | № 8 |
| 19 | 45 | 3 | \bar{b} | Дерево | 10 | № 9 |
| 20 | 200 | 5 | ε | Ст. 5 | 200 | № 10 |
| 21 | 450 | 4 | a | Ст. 5 | 200 | № 1 |

| Номер варианта | P , кН | l , м | Способ закрепления | Материал | $[\sigma]$, МПа | Форма сечения |
|----------------|----------|---------|--------------------|----------|------------------|---------------|
| 22 | 350 | 3 | \bar{b} | Ст. 3 | 160 | № 3 |
| 23 | 45 | 3 | z | Дерево | 10 | № 2 |
| 24 | 250 | 6 | v | Ст. 3 | 160 | № 4 |
| 25 | 35 | 3 | \bar{b} | Дерево | 10 | № 5 |
| 26 | 300 | 5 | z | Ст. 3 | 160 | № 6 |
| 27 | 400 | 7 | a | Ст. 5 | 200 | № 7 |
| 28 | 350 | 8 | \bar{b} | Ст. 3 | 160 | № 8 |
| 29 | 50 | 4 | a | Дерево | 10 | № 9 |
| 30 | 220 | 6 | v | Ст. 5 | 200 | №10 |
| 31 | 400 | 6 | \bar{b} | Ст. 5 | 200 | № 1 |
| 32 | 300 | 10 | v | Ст. 3 | 160 | № 3 |
| 33 | 43 | 2 | \bar{b} | Дерево | 10 | № 2 |
| 34 | 500 | 5 | a | Ст. 3 | 160 | № 4 |
| 35 | 25 | 8 | v | Дерево | 10 | № 5 |
| 36 | 350 | 10 | \bar{b} | Ст. 3 | 160 | № 6 |
| 37 | 450 | 9 | z | Ст. 5 | 200 | № 7 |
| 38 | 400 | 5 | v | Ст. 3 | 160 | № 8 |
| 39 | 60 | 5 | \bar{b} | Дерево | 10 | № 9 |
| 40 | 300 | 7 | z | Ст. 5 | 200 | №10 |
| 41 | 450 | 8 | z | Ст. 5 | 200 | № 1 |
| 42 | 400 | 6 | a | Ст. 3 | 160 | № 3 |
| 43 | 41 | 3 | v | Дерево | 10 | № 2 |
| 44 | 550 | 5 | z | Ст. 3 | 160 | № 4 |
| 45 | 20 | 10 | a | Дерево | 10 | № 5 |
| 46 | 300 | 2 | v | Ст. 3 | 160 | № 6 |
| 47 | 400 | 8 | a | Ст. 5 | 200 | № 7 |
| 48 | 420 | 6 | \bar{b} | Ст. 3 | 160 | № 8 |
| 49 | 50 | 5 | a | Дерево | 10 | № 9 |
| 50 | 225 | 4 | v | Ст. 5 | 200 | №10 |

Формы сечений, соответствующие номерам, приведенным в таблице 5, показаны на рис. 5.2.

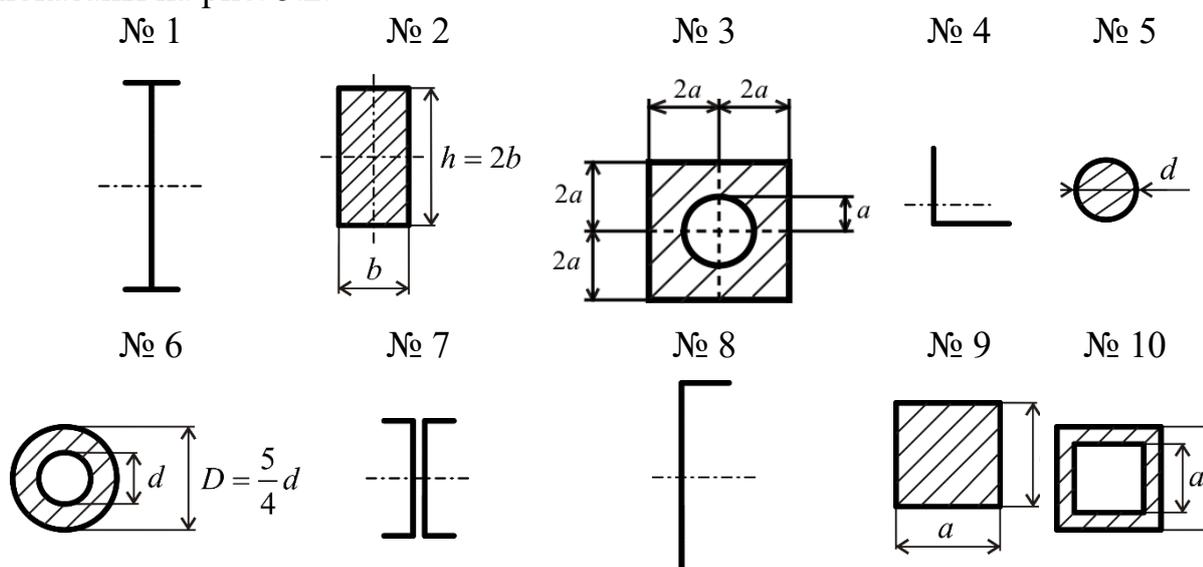


Рис. 5.2. Формы сечений

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Продольная сила. Напряжения в поперечных сечениях бруса. Перемещения поперечных сечений бруса.
2. Виды напряженного состояния. Плоское напряженное состояние.
3. Главные напряжения. Главные площадки.
4. Чистый сдвиг. Деформация при сдвиге. Закон Гука при сдвиге.
5. Статические моменты сечений. Моменты инерции сечений. Изменение моментов инерции при параллельном переносе и при повороте осей.
6. Крутящий момент. Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения.
7. Расчет бруса круглого поперечного сечения на прочность и жесткость при кручении.
8. Прямой изгиб. Эпюры внутренних усилий. Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки.
9. Главные напряжения при прямом поперечном изгибе. Расчеты на прочность при изгибе.
10. Определение перемещений в балках постоянного сечения методом начальных параметров. Расчет статически неопределимых систем.
11. Классические и энергетическая теория прочности.
12. Косой изгиб. Напряжения при косом изгибе. Определение положения нейтральной линии.
13. Внецентренное растяжение и сжатие брусьев большой жесткости. Расчет напряжений при внецентренном растяжении и сжатии. Определение положения нейтральной линии.
14. Ядро сечения. Расчет ядра сечения для брусьев прямоугольного и круглого сечений.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Продольная сила. Напряжения в поперечных сечениях бруса. Перемещения поперечных сечений бруса.
2. Виды напряженного состояния. Плоское напряженное состояние.
3. Главные напряжения. Главные площадки.
4. Чистый сдвиг. Деформация при сдвиге. Закон Гука при сдвиге.
5. Статические моменты сечений. Моменты инерции сечений. Изменение моментов инерции при параллельном переносе и при повороте осей.
6. Крутящий момент. Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения.
7. Расчет бруса круглого поперечного сечения на прочность и жесткость при кручении.

8. Прямой изгиб. Эпюры внутренних усилий. Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки.
9. Главные напряжения при прямом поперечном изгибе. Расчеты на прочность при изгибе.
10. Определение перемещений в балках постоянного сечения методом начальных параметров. Расчет статически неопределимых систем.
11. Классические и энергетическая теория прочности.
12. Обобщенные силы и обобщенные перемещения. Теорема Кастильяно.
13. Применение энергетического метода для определения упругих перемещений. Графоаналитический способ вычисления интегралов при расчете перемещений (правило Верещагина).
14. Расчет статически неопределимых систем по методу сил.
15. Неразрезные балки. Теорема о трех моментах.
16. Косой изгиб. Напряжения при косом изгибе. Определение положения нейтральной линии.
17. Внецентренное растяжение и сжатие брусьев большой жесткости. Расчет напряжений при внецентренном растяжении и сжатии. Определение положения нейтральной линии.
18. Ядро сечения. Расчет ядра сечения для брусьев прямоугольного и круглого сечений.
19. Расчет кривых брусьев. Нормальные напряжения в поперечных сечениях бруса большой кривизны. Определение положения нейтральной линии при чистом изгибе.
20. Продольный изгиб. Эйлерова критическая сила. Потеря устойчивости при напряжениях, превышающих предел пропорциональности
21. Практические расчеты стержней с различными закреплениями концов на устойчивость.
22. Приближенная теория удара. Динамический коэффициент и определение наибольших напряжений при ударе в пренебрежении массой ударяемой системы.
23. Определение наибольших напряжений с учетом массы системы подвергающейся удару. Продольный и поперечный удар.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ

на ____ / ____ учебный год

| №№ пп | Дополнения и изменения | Основание |
|----------|------------------------|-----------|
| | | |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической и прикладной механики, протокол № 12 от 09.06.2022)

Заведующий кафедрой,
доктор физико-математических наук,
профессор



М.А. Журавков

УТВЕРЖДАЮ
Декан механико-математического факультета,
доктор физико-математических наук, профессор



С.М. Босяков

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

| Название дисциплины, с которой требуется согласование | Название кафедры | Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) |
|---|---|--|---|
| Теоретическая механика | Кафедра теоретической и прикладной механики | нет | Вносить изменения не требуется (протокол № 10 от 29.05.2020) |
| Механика сплошной среды | Кафедра теоретической и прикладной механики | нет | Вносить изменения не требуется (протокол № 10 от 29.05.2020) |