



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)

«СОГЛАСОВАНО»

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель ОП

Бочарова А.А.
(Ф.И.О. рук. ОП)

«29» января

2021 г.



Директор департамента компьютерно-интегрированных производственных систем

Змеу К.В.
(Ф.И.О. дир. деп.)

«29» января

2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Механика стержневых конструкций

Направление подготовки: 15.04.03 Прикладная механика

Магистерская программа Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг

Форма подготовки (очная)

курс 1 семестр 1
лекции 18 час.
практические занятия 18 час.
лабораторные работы - час.
в том числе с использованием МАО лек. - /пр.- /лаб. - час.
всего часов аудиторной нагрузки 36 час.
в том числе с использованием МАО - час.
самостоятельная работа 45 час.
в том числе на подготовку к экзамену - 27 час.
контрольные работы (количество)
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены
зачет - семестр
экзамен 1 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 07.07.2015 №12-13-1282

Рабочая программа обсуждена на заседании отделения Машиностроения, морской техники и транспорта протокол № 5 от «29» января 2021г.

Директор отделения: к.т.н., доцент Грибиниченко М.В.

Составитель: к.т.н., старший преподаватель Морковин А.В.

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании отделения:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор отделения _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании отделения:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор отделения _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

Цели и задачи освоения дисциплины

Учебная дисциплина «Механика стержневых конструкций» предназначена для студентов 1 курса, обучающихся по направлению 15.04.03 «Прикладная механика», магистерская программа «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг». Дисциплина входит в вариативную часть блока «Дисциплины (модули)», является дисциплиной выбора (Б1.В.ДВ.04.02).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 часов), практические занятия (18 часов), самостоятельная работа студента (72 часа, в том числе на подготовку к экзамену 27). Дисциплина реализуется на 1 курсе в 1-м семестре. Форма контроля – экзамен.

Цель: получение фундаментальных знаний современных методов проверочного и проектировочного расчетов прочности и жесткости любых стержневых конструкций.

Задачи:

- изучение всех известных методов определения результирующих напряжений («внутренних» силовых факторов) для любых стержневых систем от линейных до пространственных от воздействия возможных внешних силовых факторов с учетом изменения температуры и неустойчивости монтажа. Большое внимание уделяется приведению реальной конструкции к расчетной схеме. Все задачи рассматриваются с единых математически обоснованных позиций. Широко используется матричная форма записи соответствующих формул и уравнений, удобная для применения вычислительной техники. Подчеркивается взаимосвязь между классическими методами: методом податливости (методом сил) и методом жесткости (методом перемещений). Обосновываются гипотезы, позволяющие перейти от результирующих напряжений («внутренних силовых факторов») к напряжениям с последующим расчетом на прочность.

Для успешного изучения дисциплины «Механика стержневых конструкций» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- быть способным выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
- быть готовым выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций):

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-7 готовностью овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Знает	основную проблематику задач прикладной механики с учетом потребностей промышленности и современных тенденций развития технологий, и адекватные методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач прикладной механики
	Умеет	критически анализировать современные проблемы прикладной механики с учетом мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты
	Владеет	способностью научно грамотно ставить задачи и разрабатывать программу исследования с учетом мировых тенденций развития техники и технологий, выбирать адекватные способы и методы решения, анализа и интерпретации с целью эффективного решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач прикладной механики
ПК-9 способностью самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения	Знает	основы современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, тепломассообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов

экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Умеет	применять на практике современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
	Владеет	современными методами экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия (18 часов)

МОДУЛЬ 1. Результирующие напряжения. (10 часов)

Раздел 1. Основные определения. (4 часа)

Тема 1. Введение результирующих напряжений и их определение. (1 час)

Преобразование трехмерной задачи механики деформируемого твердого тела для стержней и стержневых систем в одномерную путем введения результирующих напряжений (компонентов главного вектора и главного момента, передающихся от одной части стержня к другой, от начальной к конечной и наоборот, через каждое поперечное сечение).

Определение результирующих напряжений в общем случае нагружения стержня. Местная система координат в каждом поперечном сечении. Вывод формул, определяющих компоненты главного вектора (нормальные и поперечные силы) и компоненты главного момента (изгибающие и крутящий моменты) через внешнюю нагрузку, действующую на начальную или конечную части стержня (по одну сторону от сечения).

Тема 2. Определение результирующих напряжений с помощью моторного исчисления. (2 часа – проблемная лекция)

Мотором называется пространственная система векторов, состоящая из главного вектора и главного момента. Мотор имеет шесть координат (компонент). Первые три являются проекциями главного вектора на оси

координат, а остальные три – моментами вокруг этих осей. Мотор перемещений главным вектором имеет угол поворота тела, а главным моментом – линейное перемещение точки тела, совпадающей с началом координат. Мотор сил главным вектором имеет равнодействующую всех сил, а главным моментом – момент всех сил относительно начало координат.

Главный вектор не изменяется при переносе и повороте осей координат, а главный момент изменяется при переносе осей координат, но не изменяется при повороте осей.

Шесть не связанных линейной зависимостью орт – моторов могут играть роль координатных ортов. Разложение по ортам можно толковать как переход от одной системы координат к другой. Переход этот совершается просто, если найти взаимные моторы. В результате получим формулу преобразования координат. В этой формуле матрица строка из компонентов мотора в старых осях умножается на матрицу преобразования координат, и получаем матрицу строку из компонентов мотора в новых осях. Матрица преобразования координат представляет собой квадратную несимметричную 3x3 членную матрицу, в которую входят координаты начала координат новых осей в старых и направляющие косинусы между новыми и старыми осями. Аналогично можно получить формулу преобразования компонентов мотора при переходе от новых осей к старым (обратная формула).

Эти две формулы дают возможность расчета любой пространственной статически определимой стержневой системы. Для определения усилий в связях (реакций) необходимо моторы внешних сил (активных и реактивных) привести к какой-либо точке. Ввиду равновесия системы получим мотор, все компоненты которого равны нулю. Из этих уравнений определяются реакции в связях. Результирующие напряжения (нормальные и поперечные силы, изгибающие и крутящий моменты) являются компонентами мотора сил, передающихся от одной части конструкции к другой через рассматриваемое сечение. Для их определения необходимо моторы внешних сил,

действующих по одну сторону от сечения, привести к центру тяжести. Полученные компоненты мотора, взятые с обратным знаком, и будут компонентами результирующих напряжений. Знак минус получается потому, что компоненты мотора внешних сил, действующих по одну сторону от сечения, и компоненты мотора результирующих напряжений определяется в одной и той же системе координат. Ввиду равновесия сумма соответствующих компонентов равна нулю. Следовательно, компоненты равны по величине и противоположны по знаку.

Тема 3. Внешняя нагрузка для каждого вида нагружения. (1 час)

Приведение внешних сил к точкам оси стержня и разбиение общего случая нагружения прямого стержня на центральное растяжение (сжатие), чистое кручение и поперечные изгибы в главных плоскостях.

На каждом участке внешняя нагрузка определяется интенсивностью продольных сил (центральное растяжение или сжатие), интенсивностью распределенного момента (для чистого кручения), интенсивностью поперечной нагрузки и распределенного момента в плоскости каждого поперечного изгиба.

Раздел 2. Разрешающие дифференциальные уравнения. (2 часа)

Тема 1. Вывод разрешающих уравнений и их интегрирование. (1 час)

Разрешающие дифференциальные уравнения определяются для каждого вида нагружения. При выводе разрешающего уравнения для поперечного изгиба интенсивность поперечной нагрузки и интенсивность распределенного момента в плоскости изгиба заменяются приведенной интенсивностью поперечной нагрузки.

При интегрировании разрешающего дифференциального уравнения центрального растяжения и сжатия определяется нормальная сила и продольное перемещение. Аналогично, интегрируя разрешающее уравнение чистого кручения для стержня круглого поперечного сечения, находятся

крутящий момент и угол закручивания стержня. При интегрировании разрешающих дифференциальных уравнений поперечного изгиба в каждой из главных плоскостей определяются приведенная поперечная сила, изгибающий момент, углы поворота поперечных сечений и прогибы. Вычисляется действительная поперечная сила. Строятся эпюры результирующих напряжений (эпюры нормальных и поперечных сил, крутящих и изгибающих моментов) и эпюры перемещений (линейных и угловых).

Тема 2. Уравнения «метода начальных параметров». Программный комплекс расчета. (1 час)

Разрешающие дифференциальные уравнения интегрируются на каждом участке стержня. При большом количестве участков при интегрировании получается значительное количество постоянных интегрирования. Однако, при выполнении ряда условностей можно уравнивать соответствующие постоянные для всех участков и получить универсальные уравнения для определения результирующих напряжений и перемещений в любом сечении стержня. Постоянные интегрирования на всех участках становятся равными соответствующим постоянным на начальном участке и метод расчета называется “методом начальных параметров”. Для наиболее распространенных внешних сил запрограммированы универсальные уравнения и получен программный комплекс, позволяющий проводить на компьютере расчет с определением результирующих напряжений и перемещений. Для заданной конструкции и внешних сил студент должен составить расчетную схему, при которой выполняются все условности и справедливы универсальные уравнения, заложенные в программу.

Раздел 3. Расчет на прочность и жесткость. (4 часа)

Тема 1. Определение напряжений и применение теорий прочности. (2 часа – проблемная лекция)

Применение ряда гипотез (гипотеза плоских сечений, продольные волокна стержня не оказывают друг на друга бокового давления, гипотеза жесткого диска при кручении стержня круглого поперечного сечения), позволяющих от результирующих напряжений перейти к определению напряжений в поперечных сечениях стержня.

Нормальные напряжения в поперечных сечениях определяются нормальной силой и изгибающими моментами. Касательные напряжения находятся от поперечных сил и крутящих моментов. Эти напряжения имеют разные направления и суммируются векторно. В обычных балках основными касательными напряжениями являются напряжения от крутящего момента. Только в коротких тонкостенных балках, которые работают почти на срез, касательные напряжения от поперечных сил могут быть значительными. В продольных сечениях действуют только касательные напряжения (на продольные волокна не оказываются бокового давления), которые равны по знаку парности соответствующим касательным напряжениям в поперечных сечениях. При таком напряженном состоянии среднее главное напряжение равно нулю, а экстремальные главные напряжения определяются через напряжения в поперечном сечении.

Если ограничиться изотропными материалами и статическим нагружением, то для практических расчетов можно рекомендовать две мало отличающиеся друг от друга теории прочности: теорию Мора и теорию Писаренко-Лебедева.

Для материалов одинаково работающих при растяжении и сжатии, теория Мора переходит в третью теорию прочности (теорию максимального касательного напряжения), а теория Писаренко-Лебедева в четвертую теорию прочности (теорию энергии формоизменения или в теорию октаэдрического касательного напряжения).

При интегрировании разрешающих уравнений определяются линейные и угловые перемещения. Эти перемещения не должны превосходить допускаемых значений (расчет на жесткость).

Тема 2. Прочность и жесткость кривых стержней. (1 час)

Кривым стержнем называется стержень с криволинейной осью. Рассмотрим расчет прочности и жесткости плоского кривого стержня ось такого стержня располагается в плоскости, которая является плоскостью симметрии для стержня. Такие стержни широко распространены в инженерной практике. Это грузоподъемные крюки, обода колес, арки, звенья цепей и др. Обычно и внешняя нагрузка действует в плоскости симметрии стержня. При определении результирующих напряжений в каждом поперечном сечении, как и в прямом стержне, рассматривается местная система координат. В инженерной практике принято считать, что положительный изгибающий момент увеличивает кривизну оси стержня. Математически это правило знаков сохраняется, если ось OY будет продолжением радиуса кривизны оси стержня, ось OX перпендикулярна плоскости симметрии, а ось OZ направлена по касательной к оси стержня.

Кривые стержни принято различать на стержни малой кривизны, у которых отношение высоты поперечного сечения к радиусу меньше одной пятой, и стержни большей кривизны, у которых это отношение больше или равно одной пятой. Напряжение в поперечных сечениях стержней малой кривизны можно с достаточной точностью определять по формулам, полученным для прямого стержня. У стержня большей кривизны нормальные напряжения от изгибающего момента распределяются по высоте сечения по гиперболическому закону. Нейтральная ось не проходит через центр тяжести сечения. Расчет начинается с определения радиуса кривизны нейтрального слоя. Радиус кривизны зависит от формы поперечного сечения. Перемещения в кривых стержнях определяются обычно по формуле Максвелла-Мора,

которая для стержней большой кривизны с учетом нормальной силы принимаем более сложную форму.

Тема 3. Основы теории тонкостенных стержней. (1 час)

Тонкостенные стержни различают двух типов: стержни открытого (незамкнутого) профиля и стержни замкнутого профиля. Расчет стержней замкнутого профиля существенно не отличается от расчета обычных стержней. Здесь с достаточной точностью можно применить гипотезу плоских сечений. При нагружении стержня открытого профиля может произойти искривление (депланация) сечения. Если стержень закреплен, то стеснение депланации приводит к появлению дополнительных напряжений.

В теории тонкостенных стержней кроме обычных геометрических характеристик используются секториальные геометрические характеристики. При расчете определяется положение центра изгиба и вычисляются секториальные геометрические характеристики. Можно ввести новый силовой фактор, который называется бимоментом. Бимомент – это силовой фактор, вызывающий депланацию сечения подобно тому, как сила вызывает поступательное перемещение сечения, а момент – его поворот. Искривление сечение проще всего осуществить, если приложить к нему две пары сил, направленных в противоположные стороны. Отсюда название бимомент и отсюда вытекает, что бимомент представляет собой систему сил, статически эквивалентную нулю.

Теория тонкостенных стержней открытого профиля основана на двух гипотезах, предложенных профессором В. З. Власовым: в процессе деформации контур поперечного сечения стержня не изменяется (является абсолютно жестким) и деформации сдвига срединной поверхности равны нулю.

При стесненном кручении появляются нормальные напряжения. Окончательно формулу для этих напряжений можно представить аналогично формуле для нормальных напряжений при изгибе. В этой формуле вместо

изгибающего момента будет бимомент, осевой момент инерции заменяется секториальным моментом инерции, а координата заменяется секториальной площадью (секториальной координатой). Эта формула вытекает из закона секториальных площадей, аналогичный закону плоских сечений. При нагружении сечение поворачивается вокруг центра кручения. Вторая производная от угла поворота умноженная на секториальную площадь определяет по абсолютной величине продольной деформацию. Умножая, деформацию на модуль продольной упругости получаем дополнительной нормальное напряжение. Бимомент можно определить из решения дифференциального уравнения углов закручивания. При стесненном кручении появляются дополнительные касательные напряжения. Можно ввести дополнительный изгибно-крутящий момент. Касательные напряжения от этого момента определяются по формуле аналогичной формуле Журавского при поперечном изгибе. Поперечной силе соответствует изгибно-крутящий момент, а осевому моменту инерции – секториальный момент инерции. Можно провести аналогично между изгибом и стесненным кручением.

Рассмотрим порядок решения задач на стесненное кручение:

1. Определим геометрические характеристики, найдя предварительно центр изгиба.
2. Составим и решим дифференциальное уравнение углов закручивания.
3. Продифференцируем угол закручивания один раз и найдем крутящий момент.
4. Продифференцируем второй раз и определим бимомент.
5. Продифференцируем третий раз и получим изгибно-крутящий момент.
6. Определим нормальное и касательные напряжения.

В общем случае нагружения тонкостенного стержня нормальное и касательное напряжения определяются четырьмя силовыми факторами.

Нормальное напряжение определяется нормальной силой, двумя изгибающими моментами и бимоментом. Касательное напряжение находится от двух поперечных сил и двух моментов (крутящего и изгибно-крутящего).

Модуль 2. Расчет статически неопределимых систем. (8 часов)

Раздел 1. Метод податливости (метод сил). (3 часа)

Тема 1. Способы расчета статически неопределимых систем. (2 часа)

Статически неопределимой системой называется система, в которой число неизвестных усилий превышает количество независимых уравнений статики. Разность между числом неизвестных усилий и количеством уравнений статики называется степенью статической неопределимости. Можно считать, что любая статически неопределимая система получается из некоторой статически определимой путем введения дополнительных (“лишних”) связей. Термин “лишняя связь” следует понимать как “избыточная связь”, а не как “ненужная связь”. Каждая дополнительная связь накладывает определенные ограничения на перемещения. Эти ограничения можно выразить математически, то есть записать соответствующие геометрические уравнения, которые называются уравнениями совместности перемещений. Количество таких уравнений очевидно равно степени статической неопределимости. Теперь необходимо перебросить мостик между статическими и геометрическими уравнениями. Этот мостик устанавливается физическими уравнениями, в которых перемещения определяются через усилия и наоборот. Таким образом, при расчете статически неопределимой системы необходимо рассматривать три стороны задачи: статическую и геометрическую физическую. Неизвестными являются усилия и перемещения. Можно за основные неизвестные (неизвестные, которые определяются в первую очередь) принять усилия. В этом случае путь решения называется методом сил. Если физические уравнения являются уравнениями закона Гука, то рассматриваемый метод называют методом податливости. Аналогично за основные неизвестные можно принять

перемещения. Тогда метод расчета называют методом перемещений и в случае справедливости закона Гука методом жесткости. Если в методе сил рассматривается степень статической неопределимости, то в методе перемещений – степень кинематической неопределимости (определяется числом неизвестных перемещений). Допустим, в заданной задаче, степень статической неопределимости превышает степень кинематической неопределимости. Тогда можно рекомендовать решение методом перемещений (неизвестных будет меньше). И наоборот, когда степень статической неопределимости меньше степени кинематической неопределимости, расчет выполнить методом сил. Однако это не совсем так. Увеличение количества уравнений при наличии мощной вычислительной техники не столь существенно. Например, расчет любых ферм: плоских, пространственных, статически определимых и статически неопределимых удобно рассчитывать методом перемещений, но не в классическом виде с наложенными связями, а с использованием универсальных уравнений применяемых для любых ферм. Аналогичные уравнения можно записать и для рамных конструкций и уйти от метода сил. Однако метод сил все же является первоначальным методом расчета. Реакции в наложенных связях классического метода перемещений от внешних сил и единичных перемещений определяют из таблиц, полученных методом сил. Поэтому оба метода имеют право на существование. Иногда применяется и смешанный метод расчета.

Тема 2. Классификация внешних нагрузок (1 час)

Процедура определения включает в себя последовательное интегрирование уравнений, причем получающиеся при этом постоянные интегрирования находятся из граничных условий для балки. При выводе этих уравнений можно видеть, что они справедливы только в том случае, когда материал подчиняется закону Гука и когда углы наклонов линии прогибов балки очень малы. Кроме того, следует иметь в виду, что уравнения были

выведены из рассмотрения только деформаций, обусловленных чистым изгибом, без учета деформаций сдвига. Эти ограничения вполне приемлемы для большинства практических случаев, хотя иногда оказывается необходимым рассмотреть дополнительные прогибы, обусловленные влиянием сдвига.

Раздел 2. Разрешающие дифференциальные уравнения (5 часа)

Тема 1. Вывод разрешающих уравнений и их интегрирование (1 час)

В зависимости от условий нагружения материал может находиться в различных механических состояниях: упругом, пластическом и в состоянии разрушения. Под предельным подразумевают такое напряженное состояние, при котором происходит качественное изменение свойств материала — переход от одного механического состояния к другому. Для пластических материалов предельным считается напряженное состояние, соответствующее заметным остаточным деформациям, а для хрупких — такое, при котором начинается разрушение материала.

При линейном напряженном состоянии предельное значение единственного в этом случае главного напряжения может быть непосредственно определено из опыта (σ_T — для пластических материалов и σ_B — для хрупких). Поэтому оценка прочности в этом частном случае проста. В случае сложного напряженного состояния (объемного или плоского) при оценке прочности необходимо учитывать наличие двух или трех отличных от нуля главных напряжений. При этом опасное состояние материала зависит не только от величин главных напряжений, но и от соотношений между ними.

Тема 2. Уравнения «метода начальных параметров». Программный комплекс расчета. (2 часа)

Из-за невозможности экспериментального определения критериев опасного состояния материала при сложном напряженном состоянии пользуются гипотезами, формулирующими условия перехода материала в

опасное состояние. На основании таких гипотез построены теории прочности. Эти теории исходят из предпосылок о том, что сложное и линейное напряженные состояния считаются эквивалентными (по прочности), если они при пропорциональном увеличении главных напряжений в одно и то же число раз одновременно становятся опасными. Поэтому оценка прочности материала при любом напряженном состоянии основывается на результатах опытов при простом растяжении (сжатии), и исследуемое напряженное состояние сравнивается с линейным. Для материалов с выраженной пластичностью за опасное (предельное) состояние принимается такое, при котором начинают развиваться остаточные деформации. Для материалов, находящихся в хрупком состоянии, опасным считается такое состояние, которое предшествует началу появления трещин.

Тема 3. Определение напряжений и применение теории прочности.

Расчет на жесткость. (1 час)

При линейном напряженном состоянии предельное значение единственного в этом случае главного напряжения может быть непосредственно определено из опыта (σ_T — для пластических материалов и σ_B — для хрупких). Поэтому оценка прочности в этом частном случае проста. В случае сложного напряженного состояния (объемного или плоского) при оценке прочности необходимо учитывать наличие двух или трех отличных от нуля главных напряжений. При этом опасное состояние материала зависит не только от величин главных напряжений, но и от соотношений между ними. На основании таких гипотез построены теории прочности.

Тема 4. Расчет прочности с помощью моторного исчисления (1 час)

Первая теория прочности подтверждается опытами только при растяжении хрупких материалов и лишь в тех случаях, когда все три главные напряжения не однозначны и различны по величине.

Вторая теория прочности — теория наибольших относительных удлинений исходит из гипотезы о том, что разрушение связано с величиной наибольших относительных удлинений. Следовательно, опасное состояние материала наступает тогда, когда наибольшая по модулю относительная линейная деформация достигает значения, соответствующего опасному состоянию при простом растяжении или сжатии.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические занятия (18 часов)

Занятие 1. Расчет свободно опертых балок (групповая консультация) (2 час.)

Нахождение поперечной силы и изгибающего момента для поперечного сечения балки. Определение реакций. Вывод уравнений равновесия.

Занятие 2. Расчет консольных балок (групповая консультация) (2 час.)

Расчет консольной балки с распределенной нагрузкой. Нахождение поперечной силы. Использование условия равновесия сил, направленных вертикально.

Занятие 3. Расчет балок, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой (групповая консультация) (2 час.)

Расчет свободно опертой балки. Использование дифференциального уравнения линии прогибов.

Занятие 4. Расчет балок, нагруженных сосредоточенной силой (2 час.)

Свободно опертая балка, нагруженная сосредоточенной силой P . Использование дифференциального уравнения линии прогибов. Интегрирование уравнений. Получение результатов. Выводы.

Занятие 5. Расчет консольной балки, несущей равномерно распределенную нагрузку. (2 час)

Консольная балка, защемленная на левом конце с равномерно распределенной нагрузкой. Получение уравнения линии прогибов. Граничное условие для прогиба в опоре. Выбор вида дифференциального уравнения.

Занятие 6. Расчет на прочность сжатого стержня прямоугольного сечения (2 час.)

Пример решения задачи. Вычисление моментов инерции прямоугольного сечения. Вывод о прочности стержня.

Занятие 7. Расчет на прочность сжатого стержня, имеющего трубчатое сечения (2 час.)

Пример решения задачи. Определение действующих в стержне напряжений сжатия. Вывод о прочности стержня.

Занятие 8. Расчет на прочность сжатого стержня (групповая консультация) (2 час.)

Пример решения задачи. Определение гибкости стержня. Сравнение напряжений, подсчитанных по формуле Эйлера, с пределом пропорциональности.

Занятие 9. Определение реакций опор и усилий в стержнях плоской фермы способом Риттера (2 час.)

Пример решения задачи. Определение реакции опор фермы от заданной нагрузки и усилия в стержнях. Определение усилий в стержнях фермы. Составление уравнения равновесия сил.

Самостоятельная работа (72 часов)

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине:

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-4 неделя семестра	Подготовка к устному опросу по разделу	6 час.	УО-1

		«Результирующие напряжения»		
2	5-9 неделя семестра	Выполнение заданий по разделу «Результирующие напряжения»	16 час.	ПР-11
3	10-12 неделя семестра	Подготовка к устному опросу по разделу «Расчет статически неопределимых систем»	7 час.	УО-1
4	13-18 неделя	Выполнение заданий по разделу «Расчет статически неопределимых систем»	16 час.	ПР-11
5	Экз. сессия	Подготовка к экзамену	27 час.	экзамен
Итого			72 час.	

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Разноуровневые задания ИДЗ

При организации самостоятельной работы преподаватель должен учитывать уровень подготовки каждого студента и предвидеть трудности, которые могут возникнуть при выполнении самостоятельной работы. Преподаватель дает каждому студенту индивидуальные и дифференцированные задания. Выдача индивидуальных расчетно-графических заданий производится в зависимости от проходимой тематики курса и определяется преподавателем. Далее приводятся образцы решения типовых расчетно-графических заданий.

Индивидуальное задание по разделу «Результирующие напряжения», базовый уровень

На консольную балку, один конец A которой свободен, а другой конец B заделан, действует распределенная нагрузка меняющейся по линейному закону интенсивностью q (см. рис. 1.2, а). Найдем поперечную силу Q и изгибающий момент M на расстоянии x от свободного конца.

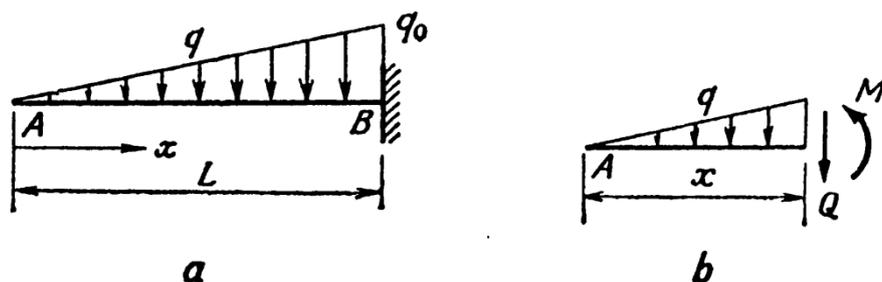


Рис. 1.2. Пример 1.2.

Решение:

Начнем с того, что разрежем балку на расстоянии x от левого конца и выделим отрезанную часть в качестве незакрепленного тела (рис. 1.2, b). Так же как и в предыдущем примере, поперечная сила Q и изгибающий момент M предполагаются положительными. Как видно, интенсивность распределенной нагрузки равна $q=q_0*x/L$, поэтому суммарная направленная вниз нагрузка, приходящаяся на не закрепленное тело (рис. 1.2, b), составляет $q_0*x^2/(2*L)$. Поэтому из условия равновесия сил, направленных вертикально, находим, что

$$Q = -q_0*x^2/(2*L). \quad (a)$$

Из этой формулы, кроме того, видно, что поперечная сила на свободном конце A ($x=0$) обращается в нуль, а на заделанном конце $B(x=L)$ составляет $-q_0*L/2$.

Для того чтобы найти изгибающий момент, возникающий в балке, составим уравнение равновесия моментов относительно оси, проходящей через сечение, по которому разрезана балка, что дает

$$M = -q_0*x^3/(6*L). \quad (b)$$

Снова рассматривая оба конца балки, видим, что изгибающий момент равен нулю при $x=0$ и равен $-q_0*L^3/6$ при $x=L$. Формулы (a) и (b) позволяют определить Q и M в произвольной точке балки, причем оказывается, что как поперечная сила, так и изгибающий момент достигают наибольшего числового значения на заделанном конце.

Индивидуальное задание по разделу «Результирующие напряжения», продвинутый уровень

Свободно опертая балка нагружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q (см. рис. 2.1),

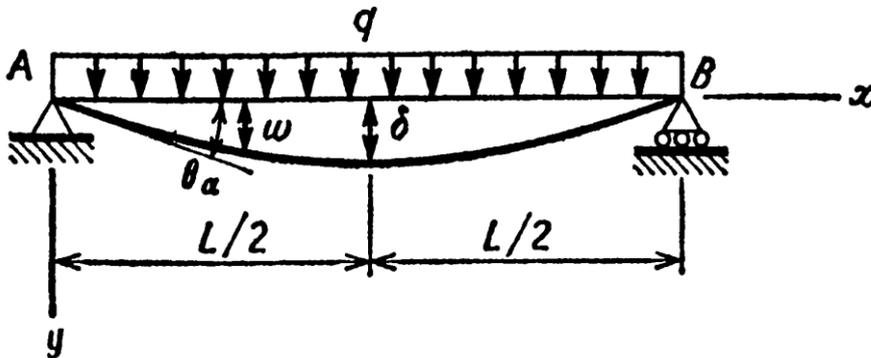


Рис. 2.1. Линия прогибов свободно опертой балки с равномерно распределенной нагрузкой.

Решение:

Используем дифференциальное уравнение линии прогибов для получения прогибов свободно опертой балки. Если то изгибающий момент в сечении, отстоящем на расстояние x от левой опоры, имеет вид $M = qx/2 - qx^2/2$, откуда можно записать

$$EI\omega'' = -\frac{qLx}{2} + qx^2/2.$$

Умножая левую и правую части этого уравнения на dx и интегрируя, получаем

$$EI\omega' = -\frac{qLx^2}{4} + \frac{qx^3}{6} + C_1, \quad (a)$$

где C_1 , — постоянная интегрирования. Для определения этой постоянной можно воспользоваться тем обстоятельством, что вследствие симметрии угол наклона линии прогибов в середине пролета равен нулю. Таким образом, имеем условие $\omega' = 0$ при $x = L/2$, которое можно записать короче: $\omega'(L/2) = 0$.

Подставляя в это условие выражение (a), получаем $C_1 = \frac{qL^3}{24}$,

после чего уравнение (a) принимает следующий вид:

$$EI\omega' = -\frac{qLx^2}{4} + \frac{qx^3}{6} + \frac{qL^3}{24}.$$

Вновь умножая правую и левую части уравнения на dx и интегрируя,

$$\text{Находим} \quad EI\omega = -\frac{qLx^3}{12} + \frac{qx^4}{24} + \frac{qL^3x}{24} + C_2. \quad (b)$$

Постоянную интегрирования C_2 можно получить из условия, что $\omega=0$ при $x=0$, или $\omega(0)=0$.

С учетом этого условия выражение (b) дает $C_2=0$, поэтому представление для прогиба (b) имеет вид $\omega = \frac{qx}{24EI}(L^3 - 2Lx^2 + x^3)$.

Используя это представление, можно найти прогиб в любой точке балки. Максимальный прогиб δ возникает в середине пролета и находится подстановкой $x=L/2$. В результате получаем

$$\delta = \omega_{max} = \frac{5qL^4}{384EI}.$$

Угол наклона достигает максимума на концах балки. Для левого конца ($x=0$) из предыдущего выражения находим

$$\theta_a = \omega'_{max} = \frac{qL^3}{24EI}.$$

Для того чтобы иным путем вывести уравнение линии прогибов равномерно нагруженной свободно опертой балки, можно в качестве исходного взять дифференциальное уравнение четвертого порядка:

$$EI\omega'''' = q.$$

Последовательное интегрирование этого уравнения дает

$$EI\omega''' = qx + C_1,$$

$$EI\omega'' = \frac{qx^2}{2} + C_1x + C_2,$$

$$EI\omega' = \frac{qx^3}{6} + C_1\frac{x^2}{2} + C_2x + C_3,$$

$$EI\omega = \frac{qx^4}{24} + C_1\frac{x^3}{6} + C_2\frac{x^2}{2} + C_3x + C_4.$$

Для определения постоянных интегрирования необходимы четыре граничных условия. Так как прогибы и изгибающие моменты на обоих концах балки обращаются в нуль, четыре граничных условия имеют следующий вид.

$$\omega(0) = \omega(L) = 0, \quad \omega''(0) = \omega''(l) = 0.$$

Из этих условий находим $C_1 = -\frac{qL}{2}, \quad C_2 = 0, \quad C_3 = \frac{qL^3}{24}, \quad C_4 = 0.$

Подставляя эти значения в приведенное выше выражение для прогиба,

получаем
$$EI\omega = \frac{qx^4}{24} - \frac{qLx^3}{12} + \frac{qL^3x}{24}$$

Индивидуальное задание по разделу «Расчет статически неопределимых систем», базовый уровень

Однородный стержень, падавший в горизонтальном положении с высоты h , упруго ударился одним концом о край массивной плиты. Найти скорость центра стержня сразу после удара

Дано: h

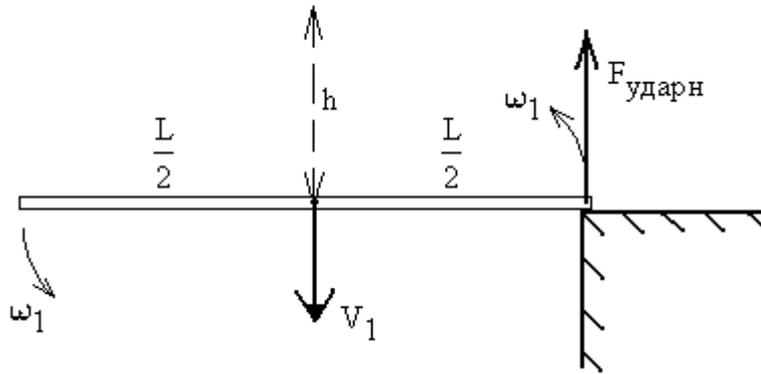
Найти: V_1

Решение:

Скорость всех точек стержня до удара, набираемая при падении в поле силы тяжести (вектор скорости каждой точки направлен вертикально вниз):

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

После удара разные точки стержня уже движутся по-разному относительно земли:



Пусть за очень малое время удара, вертикальная ударная сила передала стержню ударный импульс, величину которого мы обозначим за

$$\Delta p = \int F_{\text{ударн}} dt$$

В таком случае, скорость центра масс стержня уменьшилась до

величины:
$$V_1 = V_0 - \frac{\Delta p}{m} \quad (\phi 1)$$

Помимо этого, необходимо учесть, что ударная сила приложена к концу стержня и она его "подкрутила". Угловая скорость вращения стержня относительно оси, проходящей через его центр, возрастает от нуля до

величины
$$\omega_1 = \frac{\Delta p}{J} \cdot \frac{L}{2}$$

Изменение кинетической энергии стержня

$$\Delta W_k = \frac{m}{2} \cdot V_1^2 + \frac{J}{2} \cdot \omega_1^2 - \frac{m}{2} \cdot V_0^2 = \frac{m}{2} \cdot \left(V_0 - \frac{\Delta p}{m} \right)^2 + \frac{J}{2} \cdot \left(\frac{\Delta p}{J} \cdot \frac{L}{2} \right)^2 - \frac{m}{2} \cdot V_0^2$$

$$\Delta W_k = \frac{1}{8 \cdot m} \cdot \Delta p \cdot \frac{-8 \cdot J \cdot V_0 \cdot m + 4 \cdot J \cdot \Delta p + \Delta p \cdot L^2 \cdot m}{J}$$

Но удар упругий; значит кинетическая энергия тела не изменяется:

$$\Delta W_k = \frac{1}{8 \cdot m} \cdot \Delta p \cdot \frac{-8 \cdot J \cdot V_0 \cdot m + 4 \cdot J \cdot \Delta p + \Delta p \cdot L^2 \cdot m}{J} = 0$$

откуда найдем ударный импульс:

$$\Delta p = 8 \cdot J \cdot V_0 \cdot \frac{m}{4 \cdot J + L^2 \cdot m}$$

и подставим в (ф1):

$$V_1 = V_0 \cdot \frac{-4 \cdot J + L^2 \cdot m}{4 \cdot J + L^2 \cdot m}$$

$$J = \frac{m \cdot L^2}{12}$$

момент инерции стержня относительно его центра

$$V_1 = V_0 \cdot \frac{-4 \cdot \frac{m \cdot L^2}{12} + L^2 \cdot m}{4 \cdot \frac{m \cdot L^2}{12} + L^2 \cdot m} = \frac{1}{2} \cdot V_0$$

Индивидуальное задание по разделу «Расчет статически неопределимых систем», продвинутый уровень

Стержень с жестко закрепленным концом $x = 0$ находится в состоянии равновесия под действием продольной силы $F_0 = \text{const}$, приложенной к концу $x = l$. В момент $t = 0$ действие силы F_0 мгновенно прекращается. Найти колебания стержня, если начальные скорости равны нулю.

Решение:

Рассмотрим стержень плотности ρ (кг/метр³), модуль Юнга материала стержня равен E (Ньютон/метр²). Пусть некоторый малый участок стержня изначально имел длину, заключенную между координатами x_1 и x_2 . Растяжение привело к тому, что обе координаты сместились (до x'_1 и x'_2 соответственно). Напряжение на концах этого участка (S - площадь сечения)

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

$$\frac{F}{S} = E \cdot \frac{(x'_2 - x'_1) - (x_2 - x_1)}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{F}{S} = E \cdot \frac{(x'_2 - x_2) - (x'_1 - x_1)}{x_2 - x_1}$$

Обозначим за u величину растяжения в точке стержня - функцию координат и времени:

$$\frac{F}{S} = E \cdot \frac{u_2 - u_1}{dx}$$

$$F = S \cdot E \cdot \frac{du}{dx}$$

Величина растяжения может меняться от точки к точке. В результате, напряжение в разных точках разное и суммарная сила, действующая на концы некоторого малого участка стержня отлична от нуля. Рассмотрим такой участок длиной dx . Суммарная сила, действующая на такой участок

$$dF = F_2 - F_1 = dx \cdot \frac{dF}{dx}$$

$$dF = dx \cdot S \cdot E \cdot \frac{d^2 u}{dx^2}$$

Действующая сила приводит к ускоренному движению согласно второму закону Ньютона

$$dm \cdot \frac{d^2 u}{dt^2} = dx \cdot S \cdot E \cdot \frac{d^2 u}{dx^2}$$

$$\rho \cdot dx \cdot S \cdot \frac{d^2 u}{dt^2} = dx \cdot S \cdot E \cdot \frac{d^2 u}{dx^2}$$

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{d^2 u}{dx^2}$$

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = a^2 \cdot \frac{d^2 u}{dx^2}$$

где

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Математически, наша задача сводится к следующей:

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = a^2 \cdot \frac{d^2 u}{dx^2}$$

$$0 < x < 1$$

$$t > 0$$

$$\left(\frac{d}{dt} u \right)_{t=0} = 0$$

$$u_{x=0} = 0$$

$$u_{t=0} = \phi(x)$$

(усл.1)

Где функция $\phi(x)$ задает начальную функцию растяжения, возникающего под действием силы F_0 :

$$\phi(x) = \frac{F_0}{S \cdot E} \cdot x$$

$$0 \leq x \leq 1$$

Решение найдем методом Фурье.

Базис собственных функций:

$$X_n = \sin \left[\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi \cdot x}{2 \cdot 1} \right]$$

$$n = 0, 1, 2 \dots \infty$$

Временные гармоники:

$$T_n = \cos \left[\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi \cdot a}{2 \cdot 1} \cdot t \right]$$

Несложно убедиться, что всякая линейная комбинация частных решений вида

$$u^*(x, t) = \sum_i (C_i \cdot X_i \cdot T_i)$$

есть решение поставленной мат. задачи, без учета гран. условия (усл.1).

Для полного решения задачи (с учетом гран. условия (усл.1)),

найдем коэффициенты разложения функции $\phi(x)$ по базису функций X_n :

$$\alpha_n = \frac{2}{1} \cdot \int_0^1 \phi(x) \cdot \sin\left[\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi \cdot x}{2 \cdot 1}\right] dx$$

$$\alpha_n = \frac{2}{1} \cdot \int_0^1 \frac{F_0}{S \cdot E} \cdot x \cdot \sin\left[\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi \cdot x}{2 \cdot 1}\right] dx$$

$$\alpha_n = \frac{2}{1} \cdot \frac{F_0}{S \cdot E} \cdot \left[4 \cdot 1^2 \cdot \frac{(-1)^n}{\pi^2 \cdot (2 \cdot n + 1)^2} \right]$$

$$\alpha_n = 8 \cdot \frac{F_0 \cdot 1}{S \cdot E} \cdot \frac{(-1)^n}{\pi^2 \cdot (2 \cdot n + 1)^2}$$

Искомая функция есть сумма всех произведений элементов ряда разложения Фурье на соотв. временные гармоники:

$$u(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \left[a_n \cdot \sin\left[\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi \cdot x}{2 \cdot 1}\right] \cdot \cos\left[\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi \cdot a}{2 \cdot 1} \cdot t\right] \right]$$

$$u(x, t) = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{F_0 \cdot 1}{S \cdot E} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{(-1)^n}{(2 \cdot n + 1)^2} \cdot \sin\left[\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi \cdot x}{2 \cdot 1}\right] \cdot \cos\left[\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi \cdot a}{2 \cdot 1} \cdot t\right] \right]$$

Устные опросы

Устные опросы и коллоквиум осуществляется преподавателем по завершению изучения каждого раздела. Вопросы и задания приведены в фондах оценочных средств. Для подготовки используется основная и дополнительная литература по дисциплине «Механика стержневых конструкций».

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы

Результаты самостоятельной работы студент выполняет в виде письменного отчета, содержащего пояснительную записку.

Изложение в пояснительной записке должно быть сжатым, ясным и сопровождаться формулами, цифровыми данными, схемами. Цифровой материал необходимо оформлять в виде таблиц.

Материал в представляется в следующей последовательности:

- титульный лист;
- задание на ИДЗ;
- материал по теме индивидуального задания;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Материалы пояснительной записки должны быть изложены последовательно, лаконично, логически связаны. Пояснительная записка выполняется на компьютере на одной стороне листа формата А4. Таблицы и схемы могут быть выполнены на листах иного формата, но должны быть аккуратно сложены по формату А4. Объем отчета составляет не более 6-8 страниц.

Титульный лист не нумеруется. На следующем листе ставится номер «2». Номер проставляется арабскими цифрами в нижнем правом углу страницы.

Текст оформляется в соответствии с требованиями делопроизводства, печатается через 1,5 интервала. Сверху страницы делается отступ 20 мм, слева – 25 мм, справа – 15 мм, снизу – 20 мм. Абзацные отступы должны быть равны 5 знакам.

Текст должен быть разделен на разделы и подразделы (заголовки 1-го и 2-го уровней), в случае необходимости – пункты, подпункты (заголовки 3-го и 4-го уровней). Заголовки должны быть сформулированы кратко. Все заголовки иерархически нумеруются.

Основной текст следует набирать шрифтом Times New Roman с обычным начертанием. Заголовки 1-го и 2-го уровней следует набирать с

полужирным начертанием, заголовки 3-го и 4-го уровней – обычным. Названия рисунков и таблиц рекомендуется набирать 12 шрифтом с полужирным начертанием.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов включает индивидуальные задания, подготовку к устным опросам

Критерии оценки каждого вида работы приведены в фондах оценочных средств.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
			текущий контроль	промежуточная аттестация
Модуль 1. Результирующие напряжения	ПК-7	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 1-14
		умеет	ИДЗ (ПР-11)	Задачи тип I
		владеет		Задачи тип II
Модуль 2. Расчет статически неопределимых систем	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 15-27
		умеет	ИДЗ (ПР-11)	Задачи тип I
		владеет		Задачи тип II

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Аврамов, К. В. Механика стержневых конструкций упругих систем. Том 1. Модели, методы, явления / К. В. Аврамов, Ю. В. Михлин. — Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2015. — 716 с. <http://www.iprbookshop.ru/69361.html>

2. Масленников, А. М. Начальный курс строительной механики стержневых систем : учебное пособие / А. М. Масленников. — Санкт-

Петербург : Проспект Науки, 2017. — 240 с.

<https://www.iprbookshop.ru/80073.html>

3. Агапов, В. П. Строительная механика, курс лекций : учебное пособие / В. П. Агапов. — Москва : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. — 179 с.

<https://www.iprbookshop.ru/58215.html>

4. Тухфатуллин, Б. А. Численные методы расчета строительных конструкций. Метод конечных элементов : учебное пособие для вузов / Б. А. Тухфатуллин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 157 с. <https://urait.ru/bcode/455848>

5. Беловицкий Е.М. Расчёт сопряжённых элементов в конструкциях. Учебное пособие. - Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2014. - 294 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:756829&theme=FEFU>

6. Кирсанов М.Н. Стабильность элементов конструкций в условии ползучести: учебное пособие. Часть 1. Стержни / М.Н. Кирсанов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 184 с.

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=528188>

7. Ступишин Л.Ю. Строительная механика плоских стержневых систем: Учебное пособие / Л.Ю. Ступишин; Под ред. С.И. Трушина. - 2-е изд. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 278 с.

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=443277>

Дополнительная литература:

1. Пикуль В.В. Механика деформируемого твердого тела : учебник для вузов / В. В. Пикуль ; Дальневосточный федеральный университет. – Владивосток : Изд. дом Дальневосточного федерального университета , 2012. – 333 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:681590&theme=FEFU>

2. Васильков Г.В. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений : учебное пособие для вузов / Г. В. Васильков, З. В. Буйко. -

Санкт-Петербург : Лань , 2013. – 255 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:769939&theme=FEFU>

3. Ковтанюк Л.В. Введение в теорию пластичности : курс лекций / Л. В. Ковтанюк, А. А. Ушаков ; Дальневосточный федеральный университет. - Владивосток : Изд. дом Дальневосточного федерального университета , 2013. – 86 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:770649&theme=FEFU>

4. Самогин Ю.Н. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов - М.: Физматлит, 2012. - 200 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=544799>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. www.edulib.ru – сайт Центральной библиотеки образовательных ресурсов.
2. <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека.

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

На изучение дисциплины отводится 36 часов аудиторных занятий и 72 часа самостоятельной работы.

На лекционных и практических занятиях преподаватель контролирует работу студентов, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и метод решения. Если полученных в аудитории знаний окажется недостаточно, студент может самостоятельно повторно прочесть лекцию или соответствующую литературу, просмотреть практикум с разобранными примерами. После выполнения задания, студент защищает его преподавателю в назначенное время.

Рекомендации по работе с литературой. Теоретический и практический материал курса разъяснён в материалах рабочей учебной

программы дисциплины, предлагаемого преподавателем на занятиях, также в учебниках и учебных пособиях из списка основной и дополнительной литературы.

Рекомендации по подготовке к экзамену. Успешная подготовка к экзамену включает работу на практических занятиях в течение семестра, выполнение и успешная защита индивидуальных заданий у преподавателя. При подготовке к экзамену необходимо освоить теорию: разобрать основные темы, постановки задач и используемые методы. К экзамену допускается студент, защитивший выданные индивидуальные задания.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Оборудование, размещенное в аудиториях для проведения практических занятий по дисциплине:

Моноблоки Lenovo C360G-i34164G500UDK – 20 шт;

Мультимедийный проектор, Mitsubishi EW330U, 3000 ANSI Lumen, 1280x800 – 1 шт;

Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, 50 см, размер рабочей области 236x147 см – 1 шт;

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем, Extron SI 3CT LP (пара) – 3 шт;

Документ-камера AVervision CP355AF – 1 шт;

ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716CCBA – 1 шт;

Сетевая видеочкамера Multipix MP-HD718 – 1 шт.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПАСПОРТ ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-7 готовностью овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Знает	основную проблематику задач прикладной механики с учетом потребностей промышленности и современных тенденций развития технологий, и адекватные методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач прикладной механики
	Умеет	критически анализировать современные проблемы прикладной механики с учетом мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты
	Владеет	способностью научно грамотно ставить задачи и разрабатывать программу исследования с учетом мировых тенденций развития техники и технологий, выбирать адекватные способы и методы решения, анализа и интерпретации с целью эффективного решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач прикладной механики
ПК-9 способностью самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Знает	основы современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
	Умеет	применять на практике современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
	Владеет	современными методами экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов

Контроль достижений целей курса

Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
			текущий контроль	промежуточная аттестация
Модуль 1. Результатирующие напряжения	ПК-7	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 1-14
		умеет	ИДЗ (ПР-11)	Задачи тип I

		владеет		Задачи тип II
Модуль 2. Расчет статически неопределимых систем	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 15-27
		умеет	ИДЗ (ПР-11)	Задачи тип I
		владеет		Задачи тип II

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-7 готовностью овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Знает	основную проблематику задач прикладной механики с учетом потребностей промышленности и современных тенденций развития технологий, и адекватные методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач прикладной механики	Знание основ методов и средств проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов; методов статистической обработки и анализа результатов	Способность проводить экспериментальные исследования по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов
	Умеет	критически анализировать современные проблемы прикладной механики с учетом мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Умение использовать современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов; методы обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	Способность использовать современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов
	Владеет	способностью научно грамотно ставить задачи и разрабатывать программу исследования с учетом мировых тенденций развития техники и технологий, выбирать адекватные способы и методы решения, анализа и интерпретации с целью эффективного решения теоретических, прикладных и	Владение новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов; методами	Способность проводить анализ и обобщение результатов экспериментов по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов

		экспериментальных задач прикладной механики	обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	
ПК-9 способностью самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Знает	основы современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	- знание основных современных методов и средств проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - знание основных методов вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования	- способность перечислить основные современные методы и средства проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - сформулировать основы методов вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования;
	Умеет	применять на практике современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	- умение обосновать выбор основных современных методов и средств проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - умение применить знание основных методов вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования для целей оптимизации натуральных экспериментов;	- способность обосновать выбор основных современных методов и средств проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - способность применить знание основных методов вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования для целей оптимизации натуральных экспериментов;
	Владеет	современными методами экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	- владение знаниями, позволяющими самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - владение умением применить знание основных методов вычислительного эксперимента и	- способность самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - способность применить знание основных методов вычислительного эксперимента для адекватного компьютерного моделирования натуральных экспериментов;

			компьютерного моделирования для целей оптимизации натуральных экспериментов;	
--	--	--	--	--

**Методические материалы, определяющие процедуры оценивания
результатов освоения дисциплины**

Оценочные средства для текущей аттестации

Вопросы к устным опросам

1. Чем принципиально отличаются статически неопределимая балка от статически определимой?
2. Какие методы могут быть использованы для расчета статически неопределимых балок?
3. Как решают простейшие статически неопределимые балки?
4. Как записывается уравнение трех моментов?
5. Какие балки называют статически неопределимыми?
6. Какой порядок расчета используется при решении статически неопределимых балок?
7. Каким методом ведется проверка балки на жесткость?
8. Запишите условие прочности балки по нормальным напряжениям? Объясните, как, используя условия прочности по нормальным напряжениям, подбираются балки из ГОСТа?
9. Для чего и как проводятся деформационная проверка при решении статически неопределимых балок?
10. Как составляют канонические уравнения метода сил?
11. В какой последовательности выполняют расчет статически неопределимой балки?
12. Какие плоские рамы считаются статически неопределимыми?
13. Какой метод расчета наиболее предпочтителен для расчета рам?

14. Что понимается под выражением «каноническое уравнение» метода сил?
15. Как определяется степень статической неопределимости рамы?
16. Объясните смысловую сторону метода сил?
17. Какой порядок расчета принят при решении статически неопределимых рам?
18. Можно ли использовать метод сил при решении пространственных статически неопределимых рам?
19. Как используют свойство симметрии рам при их решении?
20. Какие проверки используются при решении рам?
21. Какие эпюры строятся для статически неопределимых рам?
22. Какие эпюры строятся для статически неопределимых кривых стержней?
23. Какие эпюры строятся для пространственных систем?
24. Дайте определение тонкостенного стержня как геометрической фигуры.
25. Что называется депланацией сечения?
26. Дайте пояснение, что такое свободное и стесненное кручение соответственно.
27. Дайте определение срединной линии поперечного сечения тонкостенного стержня.
28. Дайте определение понятия секторальной площади.
29. Какая точка называется секторальным полюсом.
30. Сформулируйте понятие секториально статический момент сечения, секториально линейный момент площади поперечного сечения и секториальный момент инерции поперечного сечения тонкостенного стержня.
31. Дайте пояснение понятия главной секториальной площади.
32. Дайте пояснение понятия бимоента.

33. Сформулируйте выражения перемещения, нормальные и касательные напряжения, возникающие при общем характере нагружения тонкостенного стержня.

34. Раскройте суть гипотезы Винклеровского основания.

35. Поясните физический смысл коэффициента постели.

36. Дайте определение относительно коротких и балок бесконечной длины

37. Подчеркните отличительные особенности между дифференциальными уравнениями изгиба обычных балок и балок на упругом основании.

38. Какими свойствами должны обладать функции Крылова.

39. Сформулируйте условия достаточной жесткости и прочности конструкций на упругом основании.

40. Что понимается под термином «балка на упругом основании»?

41. Сформулируйте предпосылки, на которых построен расчет балок на упругом основании?

42. Напишите общее выражение для интенсивности нагрузки балки на упругом основании и сформулируйте смысл параметров, входящих в это выражение?

43. Получите дифференциальные уравнения для прогибов и изгибающих моментов балки на упругом основании?

44. Напишите уравнение для изгибающих моментов балки на упругом основании по методу начальных параметров?

45. Опишите технику написания выражения для M балки на упругом основании по методу начальных параметров?

46. Приведите дифференциальные соотношения между функциональными коэффициентами A, B, C, D .

47. Получите выражения для Q, p, p' путем дифференцирования выражения для M .

48. Какие начальные параметры входят в уравнения балки на упругом основании и как они находятся?

49. Опишите технику решения задач балки на упругом основании по методу начальных параметров?

Критерии оценки

✓ 100-85 баллов выставляется студенту, если его ответ показывает прочные знания основных положений изучаемого раздела дисциплины, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение грамотно описывать проблему из выбранной предметной области.

✓ 85-76 баллов выставляется студенту, если его ответ, обнаруживающий прочные знания основных положений изучаемого раздела, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение грамотно описывать проблему из выбранной предметной области. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 балл выставляется студенту, если его ответ, свидетельствующий в основном о знании основных положений изучаемого раздела дисциплины, отличается недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками владения пройденным материалом, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок

в содержании ответа; неумение четко описывать проблему из выбранной предметной области.

✓ 60-50 баллов выставляется студенту, если его ответ, обнаруживающий незнание процессов основных положений изучаемого раздела дисциплины, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками владения пройденным материалом; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; неумение грамотно описывать проблему из выбранной предметной области

Критерии оценки ИДЗ:

✓ 10-8 баллов выставляется студенту, если он выполнил все задания в ИДЗ, в том числе и самостоятельные. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; все изучаемые методы решения задач используются верно. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 7-6 баллов – работа выполнена полностью; студент выполнил все предложенные в ИДЗ задания, не реализовано одно самостоятельное; все изучаемые методы решения задач используются верно. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 5-4 балла – работа выполнена полностью. Два самостоятельных задания не выполнено; часть методов решения задач не используется. При защите студент не отвечает на 1-2 вопроса преподавателя.

✓ 1-3 балла – работа выполнена не полностью. Самостоятельные задания не выполнены или студент демонстрирует слабое владение методами их решения. При защите студент не отвечает более, чем на 2 вопроса преподавателя.

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Типовые вопросы к экзамену

1. Классификация задач строительной механики (стержни, пластины, массивные тела, статические, динамические и т.д.). Основные гипотезы линейной строительной механики стержневых систем.
2. Классификация плоских стержневых систем (рамы, фермы, балки, рамы) и основная задача их расчета с точки зрения строительной механики.
3. Виды опорных закреплений плоских стержневых систем. Шарниры. Кратность шарниров.
4. Деление стержневых систем на статически определимые и статически неопределимые. Свойства статически определимых и статически неопределимых систем.
5. Геометрически неизменяемые и геометрически изменяемые стержневые системы.
6. Система уравнений равновесия для расчета статически определимых стержневых систем. Ее особенности в случае геометрической изменяемости системы.
7. Фермы. Их классификация. Усилия в стержнях ферм. Необходимое условие статической определимости и геометрической неизменяемости фермы.
8. Проверка геометрической неизменяемости ферм путем структурного анализа и статическим методом.
9. Способы определения усилий в стержнях ферм, построенные на основе использования уравнений равновесия: вырезания узлов, сечений и комбинированный.
10. Признаки наличия в ферме явно нулевых стержней, их объяснение. Применение способа сечений для определения усилий в стержнях простейших фермы в случаях, когда используется моментная точка, и когда она находится в бесконечности.

11. Линии влияния. Их использование при выполнении расчетов на подвижную и неподвижную нагрузки. Определение наименее выгодного положения нагрузки. Понятие о матрицах влияния.

12. Внутренние усилия в стержнях рам и балок. Правила построения и свойства эпюр изгибающего момента, перерезывающего и продольного усилий.

13. Многопролетные статически определимые балки. Условие их статической определимости. Этажная схема, определение внутренних усилий в сечениях балки.

14. Трехшарнирные арки. Сопоставление внутренних усилий в трехшарнирной арке и простой балке. Преимущества и недостатки арочных конструкций по сравнению с балочными.

15. Определение внутренних усилий в сечениях трехшарнирных арок. Особенности статической работы и расчета статически определимой арки с затяжкой.

16. Арки рационального очертания. Примеры подбора очертания арки по заданному виду нагрузки и стреле арки.

17. Определение внутренних усилий в стержнях сложных статически определимых рам. Способы контроля правильности построенных эпюр внутренних усилий.

18. Потенциальная энергия деформации. Понятие обобщенного перемещения. Теорема Лагранжа. Теорема Кастильяно.

19. Работа внутренних и внешних сил на обобщенных перемещениях. Теорема взаимности работ. Теорема взаимности перемещений.

20. Формула Максвелла-Мора для определения перемещений в стержневых системах. Возможные упрощения формулы Максвелла-Мора в случае расчета рам, ферм, балок.

21. Способы интегрирования при расчетах по формуле Максвелла-Мора: аналитический, численный (по формуле Симпсона), графоаналитический (правило Верещагина).

22. Ход расчета при решении задачи об определении перемещений в стержневой системе.

23. Степень статической неопределимости. Метод сил. Основная система метода сил. Лишние неизвестные. Условия эквивалентности исходной задачи и основной системы.

24. Вспомогательные состояния в методе сил. Формирование системы разрешающих уравнений метода сил и определение ее коэффициентов. Проверки в методе сил.

25. Рациональный выбор основной системы и вспомогательных состояний в методе сил. Обусловленность системы разрешающих уравнений метода сил.

26. Деформационная проверка, ее объяснение. Определение перемещений в статически неопределимых стержневых системах.

27. Учет симметрии и обратной симметрии стержневой системы при ее расчете методом сил.

Перечень типовых экзаменационных задач

На экзамен по каждой теме выносятся два вида задач: для оценки «продвинутого уровня» студентов предлагается решение базовых заданий (« типовые » задачи), для проверки «высокого уровня» - предлагается решение заданий повышенной трудности (« сложные » задачи)

Типовые задачи (тип I)

Раздел «Результатирующие напряжения»

На консольную балку, один конец A которой свободен, а другой конец B заделан, действует распределенная нагрузка меняющейся по линейному закону

интенсивностью q (см. рис. 1.2, а). Найдем поперечную силу Q и изгибающий момент M на расстоянии x от свободного конца.

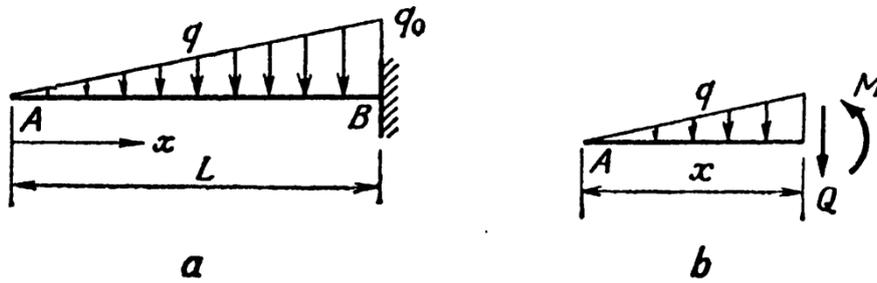


Рис. 1. Пример 1.

Сложные задачи (тип II)

Расчет колебаний стержня

Стержень с жестко закрепленным концом $x = 0$ находится в состоянии равновесия под действием продольной силы $F_0 = \text{const}$, приложенной к концу $x = l$. В момент $t = 0$ действие силы F_0 мгновенно прекращается. Найти колебания стержня, если начальные скорости равны нулю.

Образец экзаменационного билета

1. Классификация плоских стержневых систем (рамы, фермы, балки, рамы) и основная задача их расчета с точки зрения строительной механики.
2. Система уравнений равновесия для расчета статически определимых стержневых систем. Ее особенности в случае геометрической изменяемости системы.
3. Свободно опертая балка AB нагружена сосредоточенной силой P и моментом M_0 (см. рис. 1.1, а). Найдем поперечную силу и изгибающий момент для поперечного сечения балки, расположенного а) на малом расстоянии слева от середины пролета, б) на малом расстоянии справа от середины пролета.

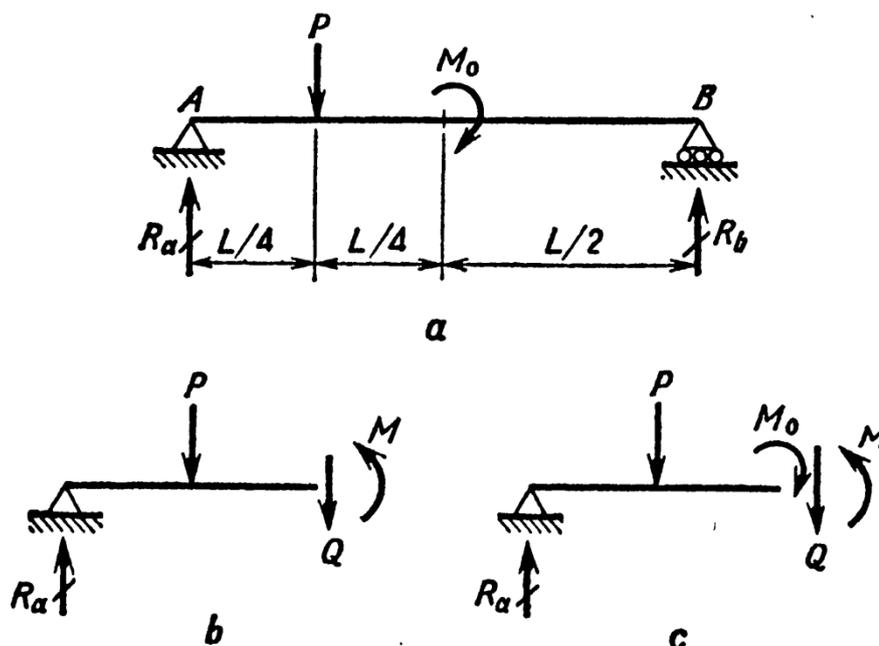


Рис. 1.1. Схема нагружения свободно опертой балки.

Принцип составления экзаменационного билета

Первые два вопроса являются теоретическими и предназначены для оценивания порогового уровня освоения дисциплины. Третий вопрос, на предназначен для оценки продвинутого уровня. Последний вопрос – для высокого уровня освоения. Таблица для составления экзаменационных билетов для двух семестров по фонду оценочных средств:

Номер вопроса	2 семестр
1	вопросы 1 – 14
2	вопросы 15 – 27
3	задачи I типа
4	задачи II типа

Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине

«Механика стержневых конструкций»

Баллы (рейтинговая оценка)	Оценка экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86-100	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил учебный материал последовательно, четко и логически стройно его излагает, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и

		приемами выполнения практических задач, в области профессиональной деятельности.
76-85	<i>«хорошо»</i>	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал по основным понятиям курса, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач в области профессиональной деятельности, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61-75	<i>«удовлетворительно»</i>	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала в области дисциплины, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ, в области своей профессиональной деятельности.
0-60	<i>«неудовлетворительно»</i>	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части учебного материала по дисциплине, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине