

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Введение в механику сплошных сред: механика твёрдого и деформируемого тела
по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составили:

О.Я. Извеков, канд. физ.-мат. наук, доцент

В.Н. Щербаков, канд. техн. наук, доцент, доцент

А.А. Быков, канд. техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФАКТ 02.12.2024

Аннотация

Семестровый курс является первой ступенью систематического изучения понятий, методов и идей механики деформируемого твердого тела (МДТТ). Включает лекционные и семинарские занятия. В содержательной части курса охвачен широкий круг тем: элементы тензорного исчисления, теория напряженного и деформированного состояний, теория линейной упругости (плоские и пространственные задачи, общие теоремы), элементы термодинамики сплошных сред, неупругие модели поведения (линейная ползучесть, пластичность), динамика сплошных сред (распространение линейных волн), элементы сопротивления материалов и теории прочности. В лекционной части акцент сделан на систематическом изложении фундаментальных основ МДТТ, вопросы сопротивления материалов и элементы теории прочности рассматриваются на семинарах. По материалу лекционной части издано учебное пособие.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по механике твердого деформируемого тела для использования в областях и дисциплинах естественнонаучного профиля;
- формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания в области механики твердого деформируемого тела.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Использует необходимые физические законы и понимает границы их применимости
	ОПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями и законами современных естественнонаучных дисциплин в сфере своей профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	ОПК-4.1 Знает основные источники научной информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Знает основные требования к информационной безопасности
ПК-1 Способен применять эффективные методы исследования физико-технических объектов и процессов, проводить испытания технологических процессов и (или) изделий с использованием современных аналитических средств технической физики	ПК-1.1 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической механики сплошных сред;
- современные проблемы механики сплошных сред;
- порядки численных величин, характерные для механики твердого деформируемого тела.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценивать степень их достоверности.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение	1			1
2	Элементы тензорного исчисления	4	2		4
3	Теория деформаций	2	2		2
4	Теория напряжений	2	2		2
5	Линейная упругость	2			2
6	Постановка задач в теории линейной упругости	2	2		2
7	Полуобратный метод Сен-Венана	2	2		2
8	Термодинамика упругих деформаций	2	2		2
9	Общие теоремы теории упругости	2			2
10	Элементы сопротивления материалов	4	8		4
11	Неупругое поведение деформируемого твердого тела	2	6		4
12	Элементы теории разрушения	3	4		2
13	Динамические задачи теории упругости	2			1
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Введение

Предмет механики сплошной среды. Понятие сплошной среды. Примеры.

2. Элементы тензорного исчисления

Разложение вектора по ортонормированному базису. Компоненты вектора. Индексные обозначения. Тензор второго ранга. Тензорное умножение, диада. Компоненты тензора второго ранга. Традиционное определение тензора второго ранга. Детерминант тензора второго ранга. Специальные операции с тензорами. Симметричные, антисимметричные и ортогональные тензоры второго ранга. Девиатор и шаровой тензор. Главные значения и главные оси. Спектральная теорема. Инварианты симметричного тензора второго ранга. Тензоры третьего ранга. Альтернирующий тензор и представление векторного произведения. Изоморфизм между пространствами векторов и антисимметричных тензоров второго ранга. Тензор четвертого ранга. Элементы теории поля. Дифференцируемое поле. Градиент скалярного, векторного и тензорного поля. Дивергенция, ротор. Теорема Остроградского-Гаусса. Теорема Стокса.

3. Теория деформаций

Вектор перемещений. Тензор малых деформаций. Смысл компонентов тензора малых деформаций. Главные деформации. Инварианты тензора малых деформаций. Условия совместности Сен-Венана. Уравнение неразрывности.

4. Теория напряжений

Силы, действующие на выделенный объем в сплошной среде. Вектор напряжений. Тензор напряжений. Формула Коши. Смысл компонент тензора напряжений. Правило знаков. Нормальные и касательные напряжения. Главные напряжения. Симметрия тензора напряжений, неполярные среды. Инварианты тензора напряжений. Представление напряженного состояния с помощью кругов Мора. Интегральное и дифференциальное уравнение равновесия.

5. Линейная упругость

Понятия линейной упругости, нелинейной упругости, неупругости. Закон Гука для анизотропного материала. Количество независимых упругих модулей. Закон Гука для изотропного материала. Коэффициенты Ламе, Модуль Юнга, коэффициент Пуассона.

6. Постановка задач в теории линейной упругости

Система уравнений. Типы граничных условий. Уравнение равновесия в перемещениях. Геометрические упрощения. Радиальная симметрия. Плоское напряженное состояние, плоское деформированное состояние. Функция напряжений Эри. Бигармоническое уравнение.

7. Полуобратный метод Сен-Венана

Задача об изгибе балки прямоугольного сечения. Задача о кручении стержня эллиптического сечения.

8. Термодинамика упругих деформаций

Первое начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия. Второе начало термодинамики. Диссипация. Термодинамические потенциалы: внутренняя энергия, свободная энергия, потенциал Гиббса. Определяющие соотношения. Разложение потенциалов в окрестности начального состояния в ряд по малым параметрам. Линейные соотношения термоупругости. Коэффициент термического расширения. Адиабатический и изотермический модуль Юнга. Представление упругой энергии в виде суммы энергии изменения объема и энергии изменения формы.

9. Общие теоремы теории упругости

Теорема о минимуме потенциальной энергии. Теорема Кастильяно. Теорема взаимности Бетти.

10. Элементы сопротивления материалов

Основные понятия. Принцип Сен-Венана. Статически определимые и статически неопределимые системы. Изгиб балки. Изгибающий момент, поперечная (перерезывающая) сила. Построение эпюр поперечной силы и изгибающего момента. Дифференциальные зависимости. Гипотеза плоских сечений. Геометрические характеристики сечений при изгибе. Нормальные напряжения при изгибе. Касательные напряжения при изгибе. Формула Журавского. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки. Правило Верещагина. Кручение упругих стержней с круговым поперечным сечением. Внутренний крутящий момент. Геометрические характеристики сечения при кручении. Напряжения при кручении. Угол закручивания стержня. Методы расчета статически определимых и статически неопределимых стержневых систем. Применение теоремы Кастильяно. Устойчивость упругих стержней. Формула Эйлера и энергетический метод определения критической силы.

11. Неупругое поведение деформируемого твердого тела

Ползучесть, релаксация напряжений и деформаций. Принцип суперпозиции Больцмана. Линейная вязкоупругость. Механические аналогии. Простейшие модели вязкоупругих сред. Пластичность. Идеальная пластичность, пластичность с упрочнением. Деформационная теория пластичности. Теория пластического течения. Ассоциированный закон течения. Критерии текучести Треска, Мизеса, Кулона-Мора, Друккера-Прагера. Уравнения Прандтля-Рейса. Эквивалентность теории течения с условием текучести Мизеса и деформационной теории для простого нагружения.

12. Элементы теории разрушения

Теории прочности. Теоретический предел прочности. Дислокации. Концентрация напряжений в окрестности неоднородности. Напряженное состояние в окрестности кончика трещины. Интенсивность касательных напряжений. Энергетический критерий Гриффитса равновесия трещины в упругом теле. Силовой критерий равновесия трещины в упругом теле.

13. Динамические задачи теории упругости

Уравнение движения. Стержневая скорость звука. Плоские волны в безграничной среде. Скорость продольных и поперечных плоских волн.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Сопротивление материалов [Текст] : учебник для вузов / В. И. Феодосьев .— 9-е изд., перераб. — М. : Наука, 1986 .— 512 с.
2. Механика обобщенно-пластических сред [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. В. Ширко ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Изд-во МФТИ, 2007 .— 156 с.
3. Элементы механики деформируемого твердого тела, учебное пособие /О. Я. Извеков ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет). Москва, МФТИ, 2019

Дополнительная литература

1. Применение SIMULIA/Abaqus при изучении курса механики твердого деформируемого тела: реологические модели [Текст] : учеб. пособие для вузов / О. Я. Извеков, Д. В. Корнев ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2014 .— 146 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

на лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, в том числе демонстрация презентаций, программное обеспечение: MS Word, MS Power Point.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Успешное освоение курса требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, семинаров, учебной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях;
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
курс:	<u>2</u>
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

О.Я. Извеков, канд. физ.-мат. наук, доцент
В.Н. Щербаков, канд. техн. наук, доцент, доцент
А.А. Быков, канд. техн. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Использует необходимые физические законы и понимает границы их применимости
	ОПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями и законами современных естественнонаучных дисциплин в сфере своей профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	ОПК-4.1 Знает основные источники научной информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Знает основные требования к информационной безопасности
ПК-1 Способен применять эффективные методы исследования физико-технических объектов и процессов, проводить испытания технологических процессов и (или) изделий с использованием современных аналитических средств технической физики	ПК-1.1 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в механику сплошных сред: механика твёрдого и деформируемого тела» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической механики сплошных сред;
- современные проблемы механики сплошных сред;
- порядки численных величин, характерные для механики твердого деформируемого тела.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценивать степень их достоверности.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

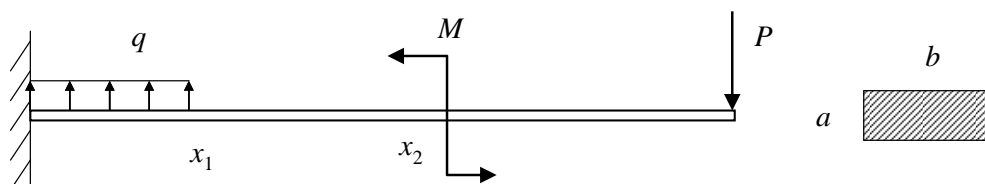
Итоговая аттестация по дисциплине «Введение в механику сплошных сред: механика твёрдого и деформируемого тела» проводится в форме дифференцированного зачета.

Текущий контроль осуществляется в форме контрольных работ и тестов в письменной форме. Каждое задание в контрольных самостоятельных и тестовых работах оценивается определенным количеством баллов. По итогам набранных баллов выставляется оценка.

Контрольная работа по теме «Изгиб балок»

Вариант 1

Дана балка длиной l прямоугольного сечения. К балке приложены нагрузки, как показано на рисунке.

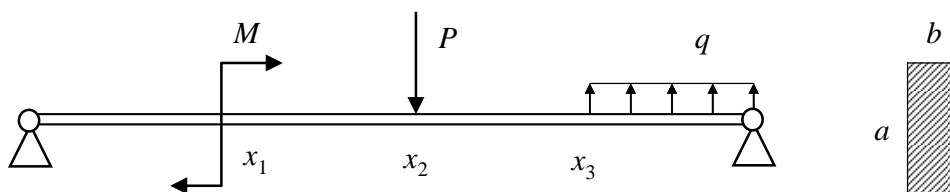


Задание:

1. Построить эпюру изгибающего момента. (3)
2. Построить эпюру перерезывающей силы. (3)
3. Рассчитать упругую энергию изогнутой балки. (2)
4. Рассчитать момент инерции сечения. Найти максимальные нормальные напряжения. Указать в каком сечении они имеют место (2)

Вариант 2

Дана балка длиной l прямоугольного сечения. К балке приложены нагрузки, как показано на рисунке.



Задание:

5. Построить эпюру изгибающего момента. (3)
6. Построить эпюру перерезывающей силы. (3)
7. Рассчитать упругую энергию изогнутой балки. (2)
8. Рассчитать момент инерции сечения. Найти максимальные нормальные напряжения. Указать в каком сечении они имеют место (2)

Остальные варианты формулируются аналогично. Меняются исходные условия: способ закрепления балки, расположение и вид приложенных сосредоточенных и распределенных сил, сосредоточенных моментов. Также варьируются сечения балок для расчета положения нейтральной линии и момента инерции сечения.

Также проводятся контрольные работы по другим темам: «Ползучесть», «Устойчивость». Примеры задач для билетов к зачету и контрольным работам приводятся ниже.

Примеры вопросов для теста по теории (проверка минимально необходимых знаний)

1. Выражение тензора малых деформаций через вектор перемещений.
2. Геометрический смысл компонент тензора малых деформаций.
3. Правило знаков для компонент тензора малых деформаций.
4. Вектор напряжений. Формула Коши.
5. Физический смысл компонент тензора напряжений.
6. Правило знаков для компонент тензора напряжений.
7. Уравнение движения и равновесия.
8. Сформулировать закон Гука для изотропного материала.
9. Энергия упругой деформации.
10. Сформулировать теорему Кастилиано.
11. Дать определение статически определимой и статически неопределимой стержневой системы.
12. Дать определение момента инерции сечения.
13. Чем отличается чистый изгиб от поперечного изгиба?
14. Правило знаков для изгибающего момента и перерезывающей силы.
15. Гипотеза плоских сечений.
16. Написать связь между интенсивностью распределенной нагрузки, перерезывающей силой и изгибающим моментом.
17. Как при чистом изгибе связаны между собой кривизна деформированной оси балки и изгибающий момент в данном поперечном сечении?
18. Дифференциальное уравнение упругой линии балки.
19. Геометрические характеристики сечения при кручении.
20. Формула Эйлера для устойчивости стержней (с выводом).
21. Волновое уравнение. Скорость продольной и поперечной волны в изотропной упругой среде.
22. Первая теория прочности.
23. Вторая теория прочности.
24. Третья теория прочности.
25. Четвертая теория прочности.
26. Критерий Гриффитса развития трещины.
27. Дать определение ползучести. Сформулировать принцип суперпозиции Больцмана.

Примеры билетов, используемых на дифференцированном зачете.

В билет входит один вопрос по теории и задача.

БИЛЕТ № 1

1. Тензор малых деформаций. Геометрический смысл компонент тензора малых деформаций. Симметричность тензора малых деформаций.
2. Задача на тему ползучесть.

БИЛЕТ № 2

1. Тензор напряжений. Физический смысл компонент тензора напряжений. Правило знаков. Симметричность тензора напряжений. Диаграмма Мора.
2. Задача на тему изгиб балки.

БИЛЕТ № 3

1. Основные уравнения механики твердого деформируемого тела: уравнение неразрывности, уравнения равновесия и движения.
2. Задача на тему устойчивость стержней.

БИЛЕТ № 4

1. Линейная среда. Закон Гука для изотропного материала.
2. Задача на тему ползучесть.

БИЛЕТ № 5

1. Энергия упругой деформации. Теорема Кастилиано.
2. Задача на тему устойчивость стержней.

БИЛЕТ № 6

1. Растяжение и сжатие упругих стержней. Статически определимые и неопределимые системы.
2. Задача на тему тензор напряжений.

БИЛЕТ № 7

1. Изгиб упругих балок. Внутренняя поперечная сила и внутренний изгибающий момент. Построение эпюр поперечной силы и изгибающего момента.
2. Задача на тему ползучесть.

БИЛЕТ № 8

1. Изгиб упругих балок. Гипотеза плоских сечений. Геометрические характеристики сечений при изгибе. Нормальные напряжения при изгибе. Касательные напряжения при изгибе.
2. Задача на тему устойчивость стержней

БИЛЕТ № 9

1. Теорема Кастильяно. Применение теоремы Кастилиано для изгиба. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.
2. Задача на тему ползучесть.

БИЛЕТ № 10

1. Кручение стержней с круговым сечением. Внутренний крутящий момент. Геометрические характеристики сечения при кручении. Напряжения при кручении.

2. Задача на тему тензор напряжений.

БИЛЕТ № 11

1. Кручение стержней с эллиптическим сечением. Внутренний крутящий момент. Геометрические характеристики сечения при кручении. Напряжения при кручении. Деформация.

2. Задача на тему ползучесть.

БИЛЕТ № 12

1. Устойчивость стержней. Понятие устойчивости. Формула Эйлера и ее применение для различных стержней.

2. Задача на тему ползучесть.

БИЛЕТ № 13

1. Волны в стержнях. Волны безвихревые. Волны бездивергентные.

2. Задача на тему изгиб балки.

БИЛЕТ № 14

1. Линейная наследственная теория ползучести. Вязкоупругость. Пластичность. Вязкопластичность.

2. Задача на тему устойчивость стержней.

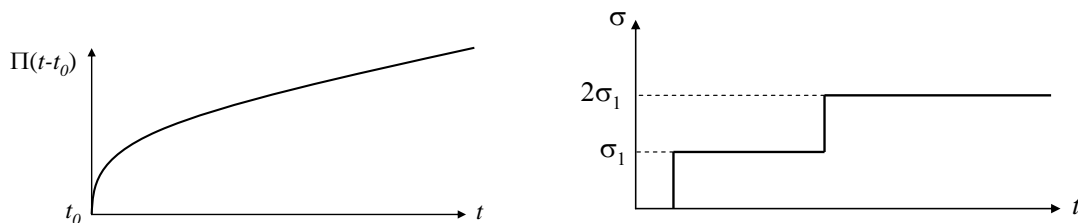
БИЛЕТ № 15

1. Первая теория прочности. Вторая теория прочности. Третья теория прочности. Четвертая теория прочности.

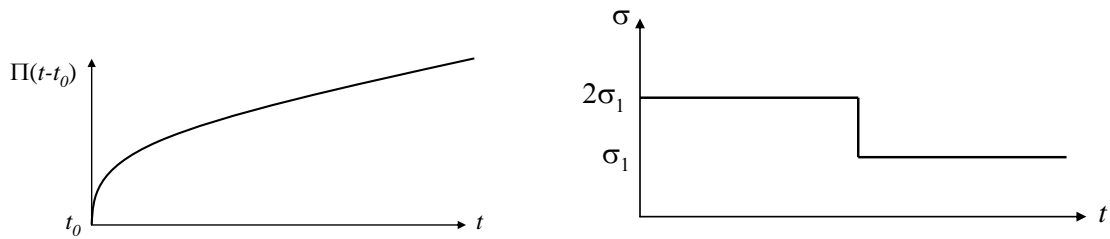
2. Задача на тему ползучесть.

Примеры задач на тему ползучесть.

1. Пусть известна функция ползучести и модуль Юнга материала. Используя принцип суперпозиции Больцмана, качественно изобразить зависимость полной деформации стержня от времени для заданной программы нагружения.



2. Пусть известна функция ползучести и модуль Юнга материала. Используя принцип суперпозиции Больцмана, качественно изобразить зависимость полной деформации стержня от времени для заданной программы нагружения.

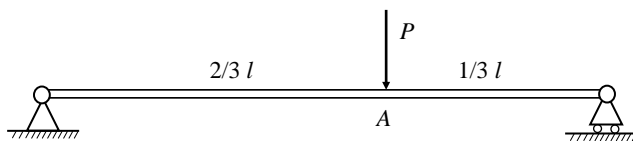


3. Пусть функция ползучести линейного материала имеет вид $\Pi(t-t_0) = 1 + e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}$.

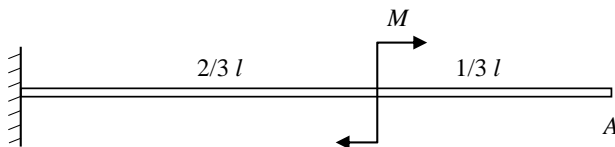
Для заданной программы нагружения стержня $\sigma(t) = \frac{\sigma_0}{\tau} t$ найти зависимость от времени полной деформации стержня $\varepsilon(t)$. Модуль Юнга материала стержня равен E .

Примеры задач на тему изгиб балок.

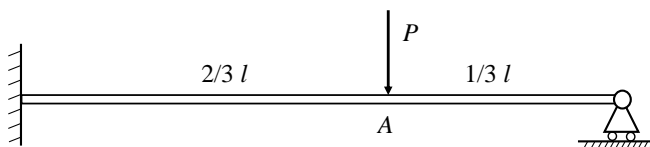
1. При какой длине закрепленная горизонтально консольная дюралюминиевая балка прямоугольного сечения (ширина a , высота b) разрушится под действием собственного веса, если известен предел прочности и плотность материала?
2. Найти прогиб балки в точке A . Момент инерции сечения и модуль Юнга известны, собственным вестом балки пренебречь. Указание: использовать теорему Кастилиано.



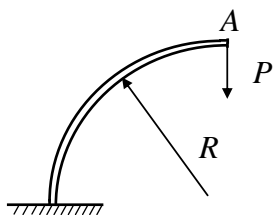
3. Балка консольно закреплена на левом конце. На некотором расстоянии от свободного конца приложен сосредоточенный момент M . Найти перемещение точки A в вертикальном направлении. Момент инерции сечения и модуль Юнга известны, собственным вестом балки пренебречь. Указание: использовать теорему Кастилиано.



4. Балка консольно закреплена на левом конце. Найти перемещение точки A под действием силы P . Момент инерции сечения и модуль Юнга известны, собственным вестом балки пренебречь. Указание: использовать теорему Кастилиано.

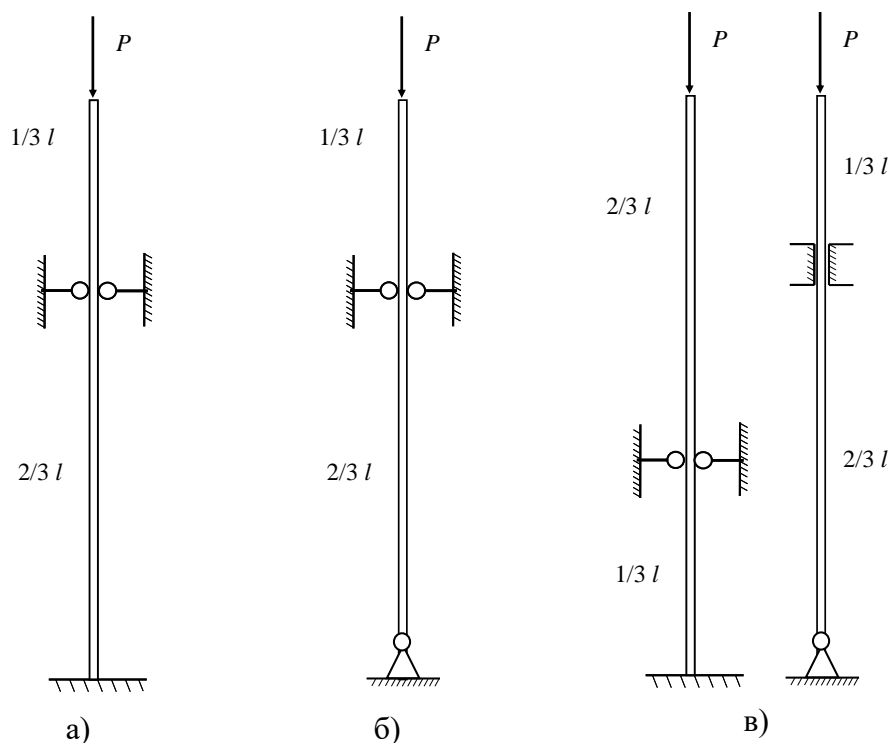


5. Дан консольно закрепленный криволинейный брус постоянного сечения, средняя линия которого представляет собой четверть окружности. Найти перемещение точки A под действием силы P . Момент инерции сечения и модуль Юнга известны, собственным вестом балки пренебречь. Указание: использовать теорему Кастилиано.



Примеры задач на тему устойчивость стержней.

1. Найти критическое значение силы P для стержня, показанного на рисунке а).
2. Найти критическое значение силы P для стержня, показанного на рисунке б).
3. Какой стержень, представленный на рисунке в) потеряет устойчивость раньше? (сила P всегда направлена вертикально).



Примеры задач на тему тензор напряжений

1. Вывести формулу Архимеда для выталкивающей силы, действующей на полностью погруженное в жидкость тело $\mathbf{f} = -\rho V \mathbf{g}$. Указание: воспользоваться формулой Коши и теоремой Остроградского-Гаусса.
2. Стержень с площадью поперечного сечения S растягивается силой F , найти нормальное и касательное напряжение на площадке, нормаль которой составляет с направлением действия силы угол θ . На какой площадке реализуется максимальное касательное напряжение? На какой площадке касательное напряжение равно нормальному?
3. (Дж. Мейз 2.2) Тензор напряжений в точке задан так

$$T_{ij} = \begin{pmatrix} 7 & 0 & -2 \\ 0 & 5 & 0 \\ -2 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

Определить вектор напряжений в этой точке на площадке с единичным вектором нормали

$\mathbf{n} = \frac{2}{3}\mathbf{e}_1 - \frac{2}{3}\mathbf{e}_2 + \frac{1}{3}\mathbf{e}_3$. Также определить а) нормальное напряжение, б) модуль вектора напряжений, в) угол между вектором напряжений и нормалью к площадке.

4. (Дж. Мейз 2.15) Тензор напряжений в точке в декартовых осях имеет компоненты

$$T_{ij} = \begin{pmatrix} 3 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

Определить главные напряжения и главные оси тензора напряжений.

5. (Дж. Мейз 2.21) Непосредственным вычислением найти инварианты I_1 , I_2 , I_3 тензора напряжений

$$T_{ij} = \begin{pmatrix} 6 & -3 & 0 \\ -3 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 8 \end{pmatrix}.$$

Найти главные напряжения для этого напряженного состояния и показать, что диагональная форма приводит к тем же самым значениям инвариантов.

6. (Дж. Мейз 2.27) Разложить тензор напряжений

$$T_{ij} = \begin{pmatrix} 12 & 4 & 0 \\ 4 & 9 & -2 \\ 0 & -2 & 3 \end{pmatrix}$$

на шаровую часть и девиатор и показать, что первый инвариант девиатора равен нулю.

7. Используя метод множителей Лагранжа, показать, что экстремальные значения нормального напряжения совпадают с главными напряжениями.

8. Доказать, что собственные векторы, соответствующие различным собственным числам тензора напряжений, ортогональны друг другу.

4. Критерии оценивания

Контрольная работа по теме «Изгиб балок»

Оценка	Набранные баллы
отлично (10)	10
отлично (9)	9
отлично (8)	8
хорошо (7)	7
хорошо (6)	6
хорошо (5)	5
удовлетворительно (4)	4
удовлетворительно (3)	3
неудовлетворительно (2)	2
неудовлетворительно (1)	1

Дифференцированный зачет

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета, он показал что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Порядок проведения контрольных работ/тестов:

Во время проведения контрольных работ/тестов обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, калькуляторами.

Порядок проведения дифференцированного зачета:

В начале зачета студенту предлагается пройти тест по теории. Успешное прохождение теста гарантирует обучающемуся оценку удовлетворительно (3 балла) за зачет. Если обучающийся желает повысить оценку, ему предлагается взять билет.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку ответа. Опрос обучающегося по билету на дифференцированном зачете не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета при подготовке ответа и ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами лекций и семинаров и любой другой литературой.