

**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: | Численное решение задач механики деформируемого твердого тела в программных комплексах |
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 1

Программу составил: О.Я. Извеков, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФАКТ 02.12.2024

Аннотация

Курс посвящен изучению классических определяющих соотношений механики деформируемого твердого тела (упругость, вязкость, пластичность). В основу теоретической части положен единый подход к построению моделей поведения материалов, связанный с анализом неравенства диссипации. В практической части курса ставятся и решаются характерные задачи механики деформируемого твердого тела с применением прикладного конечно-элементного пакета.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- формирование навыка применения знаний по механике сплошных сред при решении инженерных задач с использованием современных программных средств.

Задачи дисциплины

- обобщить и закрепить накопленные студентами знания о фундаментальных понятиях и законах механики сплошных сред;
- дать студентам систематические знания о классических моделях поведения твердого деформируемого тела;
- научить студентов работать с различными типами моделей поведения материалов при решении инженерных задач с помощью программных комплексов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|--|
| УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации | УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели |
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию | ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях |

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической механики и термодинамики сплошных сред;
- особенности, сходства и различия классических моделей поведения твердого деформируемого тела;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов механики твердого деформируемого тела;
- основные понятия метода конечных элементов, алгоритм расчета на прочность по методу конечных элементов.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента.

владеть:

- навыками инженерных расчетов в программных комплексах;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными.

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 | Основы применения прикладных пакетов в инженерных расчетах | | | 6 | 18 |
| 2 | Кинематика и законы сохранения в МСС | | | 3 | 19 |
| 3 | Термодинамика и основы теории определяющих соотношений | | | 3 | 19 |
| 4 | Классические реологические модели в механике твердого деформируемого тела | | | 18 | 19 |
| Итого часов | | | | 30 | 75 |
| Подготовка к экзамену | | 30 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 135 час., 3 зач.ед. | | | |

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Основы применения прикладных пакетов в инженерных расчетах

Цели и задачи курса. Основные вехи развития CAD систем. Основные игроки рынка CAD систем. Архитектура прикладных пакетов. Солвер, постпроцессор, взаимодействие модулей. Архитектура, возможности и основные отличительные особенности SIMULIA/Abaqus. Основные этапы расчёта с помощью методов конечных элементов. Виды конечных элементов и способы их построения. Решение статической задачи теории упругости. Получение матрицы жесткости и векторов внешних нагрузок. Принципы численной реализации МКЭ и составления программ. Методы решения линейных алгебраических систем уравнений МКЭ, используемые солвером SIMULIA/Abaqus. Импорт геометрии в SIMULIA/Abaqus.

2. Кинематика и законы сохранения в МСС

Отсчетная и текущая конфигурация. Элементарные сведения из тензорного анализа. Тензоры градиентов деформации. Полярное разложение тензора градиента деформации. Уравнение совместности деформаций и скоростей. Приближение малых деформаций. Тензор малых деформаций и тензор малых поворотов. Закон сохранения массы в форме Лагранжа и Эйлера. Поверхностные и объемные силы. Вектор и тензор напряжений. Локальное уравнение движения. Вектор теплового потока. Уравнение баланса энергии.

3. Термодинамика и основы теории определяющих соотношений

Температура и энтропия. Неравенство Клаузиуса-Дюгема. Диссипативная функция. Различные трактовки второго начала термодинамики. Состояние и реакция элемента сплошной среды. Основные принципы построения определяющих соотношений. Память материала. Внутренние параметры.

4. Классические реологические модели в механике твердого деформируемого тела

Построение системы определяющих соотношений для упругого материала. Линейная и нелинейная упругость. Разложение упругого потенциала в ряд по малым параметрам. Закон Гука, закон Фурье. Понятие о гипо- и гиперупругих средах. Расчет изгиба упругой балки с помощью SIMULIA/Abaqus. Сравнение результатов расчёта напряженно деформированного состояния балки для различных типов конечных элементов. Концентраторы в упругом теле. Расчет коэффициентов концентрации в упругом теле, исследование влияния размеров конечных элементов на значение коэффициента концентрации. Построение системы определяющих соотношений для линейно вязкой жидкости и линейно вязкого твердого тела. Уравнение Навье-Стокса. Тело Фойхта. Диссипация вязкого трения. Применение метода внутренних переменных. Построение определяющих соотношений для материалов с затухающей памятью. Идеальные и упрочняющиеся материалы. Термодинамически согласованное кинетическое уравнение для внутреннего параметра. Тело Максвелла. Ползучесть, релаксация напряжений. Принцип суперпозиции Больцмана. Термодинамическая согласованность комбинированных моделей. Нелинейная ползучесть. Численное решение характерных задач вязкоупругости. Идеальные и упрочняющиеся упруго пластические материалы. Диссипация пластического течения. Формулировка теории пластичности через напряжения и деформации. Поверхность текучести. Ассоциированный закон пластического течения для идеального упругопластического тела. Дополнительные экстремальные принципы (принцип Мизеса, принцип Друкера). Трансляционное и изотропное упрочнение. Эффект Баушингера. Ассоциированный закон течения для упрочняющегося упругопластического тела. Модель Треска, модель Мизеса. Применение теории пластичности в механике грунтов и горных пород. Модели пластических материалов с внутренним трением (модели Кулона, Друкера-Прагера, Camclay). Решение характерных задач упругопластичности в SIMULIA/Abaqus. Изгиб упругопластической балки. Сравнение коэффициентов концентрации около отверстия в упругом и упруго-пластичном теле. Образование шейки при растяжении стержня. Соотношение истинных свойств материала и измеряемого поведения экспериментального образца.

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

Необходимое оборудование: оборудованные компьютерной техникой места студентов и преподавателя, мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска).
Необходимое программное обеспечение: SIMULIA/Abaqus, MS Power Point.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная 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.
2. Механика деформируемого твердого тела [Текст] : учебное пособие для ун-тов : доп. М-вом высш. и сред. спец. образов. СССР / Ю. Н. Работнов .— М. : Наука, 1979 .— 744 с.

Дополнительная литература

1. Механика и термодинамика насыщенной пористой среды [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. И. Кондауров ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2007 .— 310 с.

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

- 1 <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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

Используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Успешное освоение курса «Численное решение задач механики деформируемого твердого тела в программных комплексах» 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;
- решение задач в программных комплексах (SIMULIA/Abaqus);
- решение индивидуального задания, предлагаемого преподавателем каждому студенту;
- подготовку к экзамену.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|--|--|
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ |
| курс: | <u>1</u> |
| квалификация: | магистр |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен | |
| Разработчик: | О.Я. Извеков, канд. физ.-мат. наук |

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|--|
| УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации | УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели |
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию | ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Численное решение задач механики деформируемого твердого тела в программных комплексах» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической механики и термодинамики сплошных сред;
- особенности, сходства и различия классических моделей поведения твердого деформируемого тела;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов механики твердого деформируемого тела;
- основные понятия метода конечных элементов, алгоритм расчета на прочность по методу конечных элементов.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента.

владеть:

- навыками инженерных расчетов в программных комплексах;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными.

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

Текущий контроль освоения практической части осуществляется непосредственно на лабораторных занятиях. Студенты демонстрируют геометрическую модель, граничные условия, результаты численного расчета. Типичные задачи: изгиб упругой балки, концентрация напряжений в окрестности круглого отверстия в пластине (упругость); ползучесть нагруженного стержня (вязкость); изгиб упруго-пластической балки, образование шейки при растяжении цилиндрического образца (пластичность). Контроль освоения теоретического материала осуществляется на экзамене.

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

Аттестация по дисциплине «Численное решение задач механики твердого деформируемого тела в программных комплексах» проводится в форме экзамена.

Промежуточный контроль осуществляется в форме самостоятельной работы, которая не оценивается в баллах, но которую необходимо защитить для допуска до экзамена.

Примеры билетов, используемых на экзамене.

В билет входит один вопрос по теории. После успешного ответа на теоретический вопрос экзаменуемому предлагается одна обязательная задача.

Список теоретических вопросов к экзамену:

1. Основные этапы расчёта с помощью методов конечных элементов. Виды конечных элементов и способы их построения. Решение статической задачи теории упругости. Получение матрицы жесткости и векторов внешних нагрузок.
2. Принципы численной реализации МКЭ и составления программ. Методы решения линейных алгебраических систем уравнений МКЭ, используемые солвером SIMULIA/Abaqus.
3. Построение системы определяющих соотношений для упругого материала. Линейная и нелинейная упругость. Разложение упругого потенциала в ряд по малым параметрам. Закон Гука, закон Фурье. Понятие о гипо- и гиперупругих средах.
4. Построение системы определяющих соотношений для линейно вязкой жидкости и линейно вязкого твердого тела. Уравнение Навье-Стокса. Тело Фойхта. Диссипация вязкого трения.
5. Применение метода внутренних переменных. Построение определяющих соотношений для материалов с затухающей памятью. Идеальные и упрочняющиеся материалы. Термодинамически согласованное кинетическое уравнение для внутреннего параметра. Тело Максвелла. Ползучесть, релаксация напряжений.
6. Идеальные и упрочняющиеся упруго пластические материалы. Диссипация пластического течения. Формулировка теории пластичности через напряжения и деформации. Поверхность текучести.
7. Ассоциированный закон пластического течения для идеального упругопластического тела. Дополнительные экстремальные принципы (принцип Мизеса, принцип Друкера).
8. Трансляционное и изотропное упрочнение. Эффект Баушингера. Ассоциированный закон течения для упрочняющегося упругопластического тела.
9. Модель Треска, модель Мизеса. Применение теории пластичности в механике грунтов и горных пород. Модели пластических материалов с внутренним трением (модели Кулона, Друкера-Прагера).
10. Кинематика сплошной среды. Градиент деформации, тензорные меры конечных деформаций, тензор малых деформаций, тензор логарифмических деформаций.
11. Механика сплошной среды. Уравнение неразрывности, уравнение движения. Тензор напряжений.
12. Термодинамика сплошной среды. Уравнение баланса энергии, второе начало термодинамики в форме Клаузиуса-Дюгема. Энтропия, свободная энергия.
13. Принципы построения определяющих соотношений. Принцип детерминизма, локальности, объективности, термодинамической согласованности.
14. Память материала. Типы памяти, примеры.

Список билетов к экзамену:

БИЛЕТ № 1

1. Основные этапы расчёта с помощью методов конечных элементов. Виды конечных элементов и способы их построения. Решение статической задачи теории упругости. Получение матрицы жесткости и векторов внешних нагрузок.
2. Задача.

БИЛЕТ № 2

1. Принципы численной реализации МКЭ и составления программ. Методы решения линейных алгебраических систем уравнений МКЭ, используемые солвером SIMULIA/Abaqus.
2. Задача.

БИЛЕТ № 3

1. Построение системы определяющих соотношений для упругого материала. Линейная и нелинейная упругость. Разложение упругого потенциала в ряд по малым параметрам. Закон Гука, закон Фурье. Понятие о гипо- и гиперупругих средах.
2. Задача.

БИЛЕТ № 4

1. Построение системы определяющих соотношений для линейно вязкой жидкости и линейно вязкого твердого тела. Уравнение Навье-Стокса. Тело Фойхта. Диссипация вязкого трения.
2. Задача.

БИЛЕТ № 5

1. Применение метода внутренних переменных. Построение определяющих соотношений для материалов с затухающей памятью. Идеальные и упрочняющиеся материалы. Термодинамически согласованное кинетическое уравнение для внутреннего параметра. Тело Максвелла. Ползучесть, релаксация напряжений.
2. Задача.

БИЛЕТ № 6

1. Идеальные и упрочняющиеся упруго пластические материалы. Диссипация пластического течения. Формулировка теории пластичности через напряжения и деформации. Поверхность текучести.
2. Задача.

БИЛЕТ № 7

1. Ассоциированный закон пластического течения для идеального упругопластического тела. Дополнительные экстремальные принципы (принцип Мизеса, принцип Друкера).
2. Задача.

БИЛЕТ № 8

1. Трансляционное и изотропное упрочнение. Эффект Баушингера. Ассоциированный закон течения для упрочняющегося упругопластического тела.
2. Задача

БИЛЕТ № 9

1. Модель Треска, модель Мизеса. Применение теории пластичности в механике грунтов и горных пород. Модели пластических материалов с внутренним трением (модели Кулона, Друкера-Прагера).
2. Задача.

БИЛЕТ № 10

1. Кинематика сплошной среды. Градиент деформации, тензорные меры конечных деформаций, тензор малых деформаций, тензор логарифмических деформаций.
2. Задача.

БИЛЕТ № 11

1. Механика сплошной среды. Уравнение неразрывности, уравнение движения. Тензор напряжений.
2. Задача.

БИЛЕТ № 12

1. Термодинамика сплошной среды. Уравнение баланса энергии, второе начало термодинамики в форме Клаузиуса-Дюгема. Энтропия, свободная энергия.
2. Задача.

БИЛЕТ № 13

1. Принципы построения определяющих соотношений. Принцип детерминизма, локальности, объективности, термодинамической согласованности.
2. Задача.

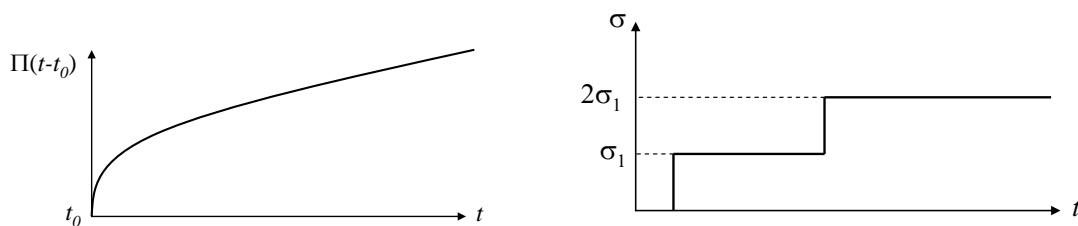
БИЛЕТ № 14

1. Память материала. Типы памяти, примеры.
2. Задача.

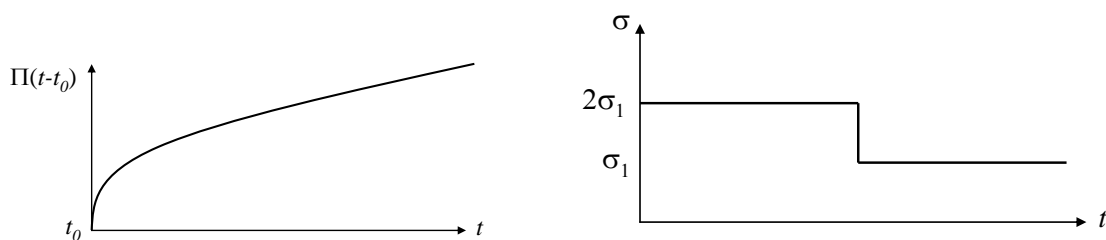
Примеры задач, предлагаемых для решения на экзамене.

Задачи в билетах проверяют понимание качественных закономерностей поведения материалов в различных условиях и в основном посвящены вопросам линейной ползучести и релаксации напряжений.

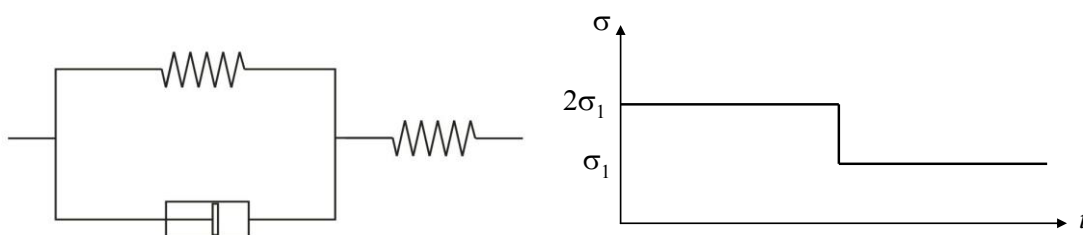
1. Пусть известна функция ползучести и модуль Юнга материала. Используя принцип суперпозиции Больцмана, качественно изобразить зависимость полной деформации стержня от времени для заданной программы нагружения.



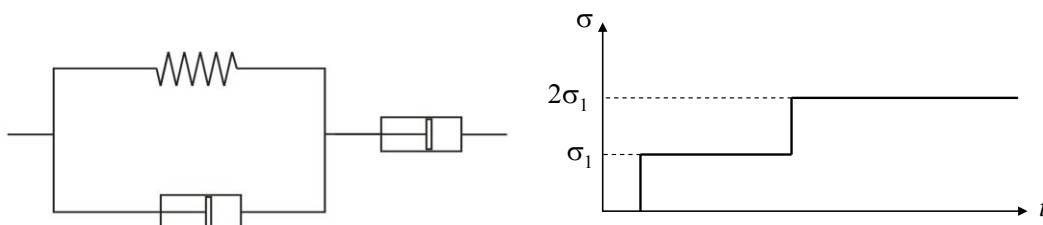
2. Пусть известна функция ползучести и модуль Юнга материала. Используя принцип суперпозиции Больцмана, качественно изобразить зависимость полной деформации стержня от времени для заданной программы нагружения.



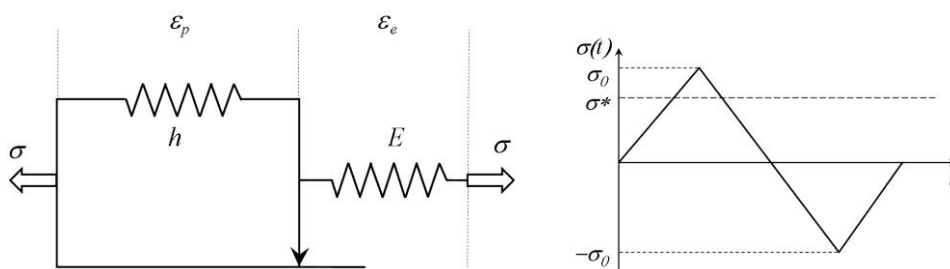
3. Дан материал, свойства которого заданы схемой, как показано на рисунке. Восстановить график зависимости полной деформации стержня из данного материала от времени, если известна зависимость напряжения в поперечном сечении стержня от времени.



4. Дан материал, свойства которого заданы схемой, как показано на рисунке. Восстановить график зависимости полной деформации стержня из данного материала от времени, если известна зависимость напряжения в поперечном сечении стержня от времени.



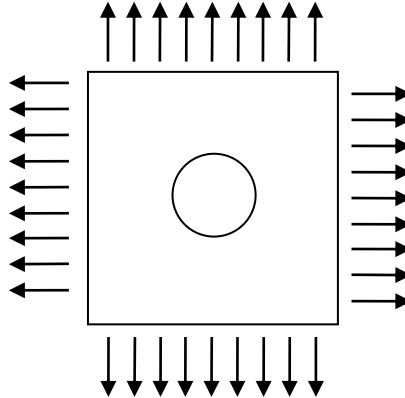
5. Дан упруго-пластический материал, свойства которого заданы схемой, как показано на рисунке. Программа изменения напряжения при растяжении-сжатии стержня из данного материала известна. Величина σ^* соответствует порогу сухого трения на схеме материала. Восстановить зависимость полной деформации от времени и зависимость напряжения в сечении стержня от полной деформации.



Другие задачи формулируют аналогично. Вместо программы изменения напряжения можно предложить программу изменения деформаций.

Примеры индивидуальных заданий для самостоятельного выполнения.

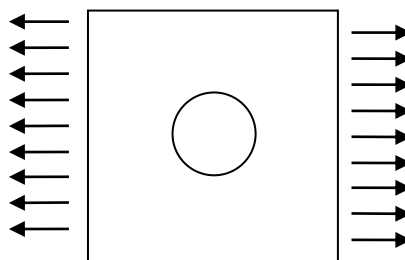
1. Численно определить коэффициент концентрации для пластинки, изготовленной из упругого материала, с отверстием в центре, для следующего случая нагружения:
Размеры пластинки $1\text{ м} \times 1\text{ м}$, толщина 1 мм , отверстие располагается строго по центру,



радиус отверстия $R=5\text{ см}$. Величина погонной силы – $F=1000\text{ Н/м}$. Рассматривать только четвертинку пластинки. Рассмотреть разбивку на ≈ 300 элементов и ≈ 1000 элементов. Коэффициент концентрации рассчитывать как отношение средней интенсивности напряжений к максимальной интенсивности напряжений в окрестности отверстия.

2. Рассчитать, насколько за 15 лет непрерывной работы провиснет под собственным весом медная труба, служащая для отвода горячего пара (235°C) на АЭС, из-за влияния ползучести. Длина трубы – $L = 5\text{ м}$, внешний диаметром 20 см , толщина стенок 4 мм . Труба с обоих концов шарнирно закреплена на кронштейнах (на концах запрещены только перемещения). Свойства меди при температуре 235°C (в миллиметровом СИ):
 $\rho=7.8 \times 10^{-9}\text{ т/мм}^3$, $E = 1.8 \times 10^5\text{ МПа}$, $\nu = 0.33$. Характеристики ползучести при $T=235^\circ\text{C}$:
 $k = 1.564 \times 10^{-12}(\text{МПа})^n/\text{с}$ (Power Law Multiplier), $n = 2.16$ (EqStressOrder), $m = 0$ (TimeOrder). Трубу моделировать балочными элементами.

3. Численно определить коэффициент концентрации для пластинки, изготовленной из упруго-пластичного материала, с отверстием в центре, для следующего случая нагружения:



Размеры пластинки $1\text{м} \times 1\text{м}$, толщина 1мм, отверстие располагается строго по центру, радиус отверстия $R=5\text{ см}$. Материал пластинки– алюминиевый сплав со следующими механическими свойствами: $E = 7 \times 10^{10}\text{ Па}$, $\nu = 0,33$. Диаграмма растяжения с линейным упрочнением:

$$\sigma_{пл_0} = 1,401848 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$\sigma_{пл_1} = 3,069397 \times 10^8 \text{ Па}, \varepsilon_{пл_1} = 0,053884$$

Получить коэффициенты концентрации для погонной силы – $F=1 \times 10^5\text{Н/м}$, $1,2 \times 10^5\text{Н/м}$, $1,5 \times 10^5\text{Н/м}$. Рассматривать только четвертинку пластинки. Для лучшей сходимости задачи запретить перемещения по линиям симметрии в направлении, перпендикулярном плоскости пластинки. Число элементов ≈ 1000 . Коэффициент концентрации рассчитывать как отношение средней интенсивности напряжений к максимальной интенсивности напряжений в окрестности отверстия.

4. Критерии оценивания Экзамен

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

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, 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, 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, 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, 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, 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 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 защиты самостоятельной работы:

Обучающийся должен самостоятельно подготовить расчет инженерной задачи по индивидуальному заданию, выданному преподавателю. Затем показать созданный проект в SIMULIA/Abaqus преподавателю. Обучающийся должен объяснить процесс создания модели, выбор граничных условий, продемонстрировать результаты расчетов. После успешной сдачи самостоятельной работы обучающийся допускается до сдачи экзамена.

Порядок проведения экзамена:

Во время проведения экзамена при подготовке ответа на билет допускается использование конспектов лекций, семинаров и любой другой литературы. Во время ответа использование литературы не допускается. Задача экзаменуемому выдается после успешного ответа на вопрос билета. При решении задачи использование литературы не допускается.