

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Нелинейные модели механики сплошных сред

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Математическое моделирование физико-механических процессов

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.08 Нелинейные модели механики сплошных сред относится к обязательной части образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
УК-2: Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1: Знает структуру жизненного цикла проекта УК-2.2: Умеет адаптировать жизненный цикл под специфику конкретных проектов УК-2.3: Владеет методами управления проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1: Знать структуру жизненного цикла проекта УК-2.2: Уметь адаптировать жизненный цикл под специфику конкретных проектов в области нелинейных моделей механики сплошных сред УК-2.3: Владеть методами управления проектом на всех этапах его жизненного цикла	Расчетно-графическая работа	Зачёт: Контрольные вопросы
УК-3: Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1: Знает основные принципы управления командой проекта УК-3.2: Умеет вырабатывать командную стратегию при выполнении проекта УК-3.3: Владеет методами мотивации команды на достижение поставленной цели	УК-3.1: Знать основные принципы управления командой проекта УК-3.2: Уметь вырабатывать командную стратегию при выполнении проекта УК-3.3: Владеть методами мотивации команды на достижение поставленной цели	Расчетно-графическая работа	Зачёт: Контрольные вопросы
ОПК-5: Способен к организации и	ОПК-5.1: Обладает знаниями в области	ОПК-5.1: Знать: основы и особенности	Задания	Зачёт:

ведению инновационно-исследовательской деятельности	организации и ведения инновационно-исследовательской деятельности ОПК-5.2: Умеет осуществлять организацию и ведение инновационно-исследовательской деятельности ОПК-5.3: Имеет практический опыт организации и ведения инновационно-исследовательской деятельности	организации инновационно-исследовательской деятельности: - основные закономерности необратимого деформирования и разрушения конструкционных материалов при различных режимах физико-механических воздействий; - модели пластичности, ползучести и накопления повреждений ОПК-5.2: Уметь: выбирать нужную модель деформирования материала для решения задачи оценки прочности конструкции; - получать материальные функции моделей пластичности, ползучести и накопления повреждений ОПК-5.3: Владеть навыками построения новых математических моделей, для описания закономерностей деформирования материалов в заданных условиях внешних воздействий		Контрольные вопросы
---	--	--	--	---------------------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение. Эффекты необратимого поведения конструкционных материалов при различных режимах термосиловых нагружений	13	2	2	4	9
Описание процессов нелинейного деформирования и деградации свойств конструкционных материалов в рамках соотношений механики поврежденной среды	13	2	2	4	9
Основные положения, используемые при построении моделей пластического течения. Модели теории пластического течения.	13	2	2	4	9
Проверка адекватности применения моделей термопластичности с комбинированным упрочнением	13	2	2	4	9
Модели, описывающие процессы ползучести и релаксации напряжений в конструкционных материалах при квазистатических термосиловых нагружениях	13	2	2	4	9
Моделирование процессов необратимого деформирования и разрушения материалов в рамках соотношений механики поврежденной среды	14	2	2	4	10
Особенности моделирования процессов деформирования и разрушения материалов при малоцикловых термосиловых нагружениях	14	2	2	4	10
Моделирование процессов многоциклового усталости конструкционных материалов	14	2	2	4	10
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

Введение. Эффекты необратимого поведения конструкционных материалов при различных режимах термосиловых нагружений

Описание процессов нелинейного деформирования и деградации свойств конструкционных материалов в рамках соотношений механики поврежденной среды

Основные положения, используемые при построении моделей пластического течения. Модели теории пластического течения

Проверка адекватности применения моделей термопластичности с комбинированным упрочнением

Модели, описывающие процессы ползучести и релаксации напряжений в конструкционных материалах при квазистатических термосиловых нагружениях

Моделирование процессов необратимого деформирования и разрушения материалов в рамках соотношений механики поврежденной среды

Особенности моделирования процессов деформирования и разрушения материалов при малоцикловых термостатических нагрузках

Моделирование процессов многоциклового усталости конструкционных материалов

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа должна состоять в практическом применении полученных знаний путем:

- получения материальных функций моделей деформирования и разрушения материалов;
- реализации моделей деформирования и разрушения материалов;
- проведения численных исследований.

Для успешного выполнения самостоятельной работы в наличии имеются компьютерный класс с установленными на компьютеры стандартными офисными пакетами, средствами разработки программ.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа) для оценки сформированности компетенции УК-2:

Задача о деформировании стержня. Метод Тейлора

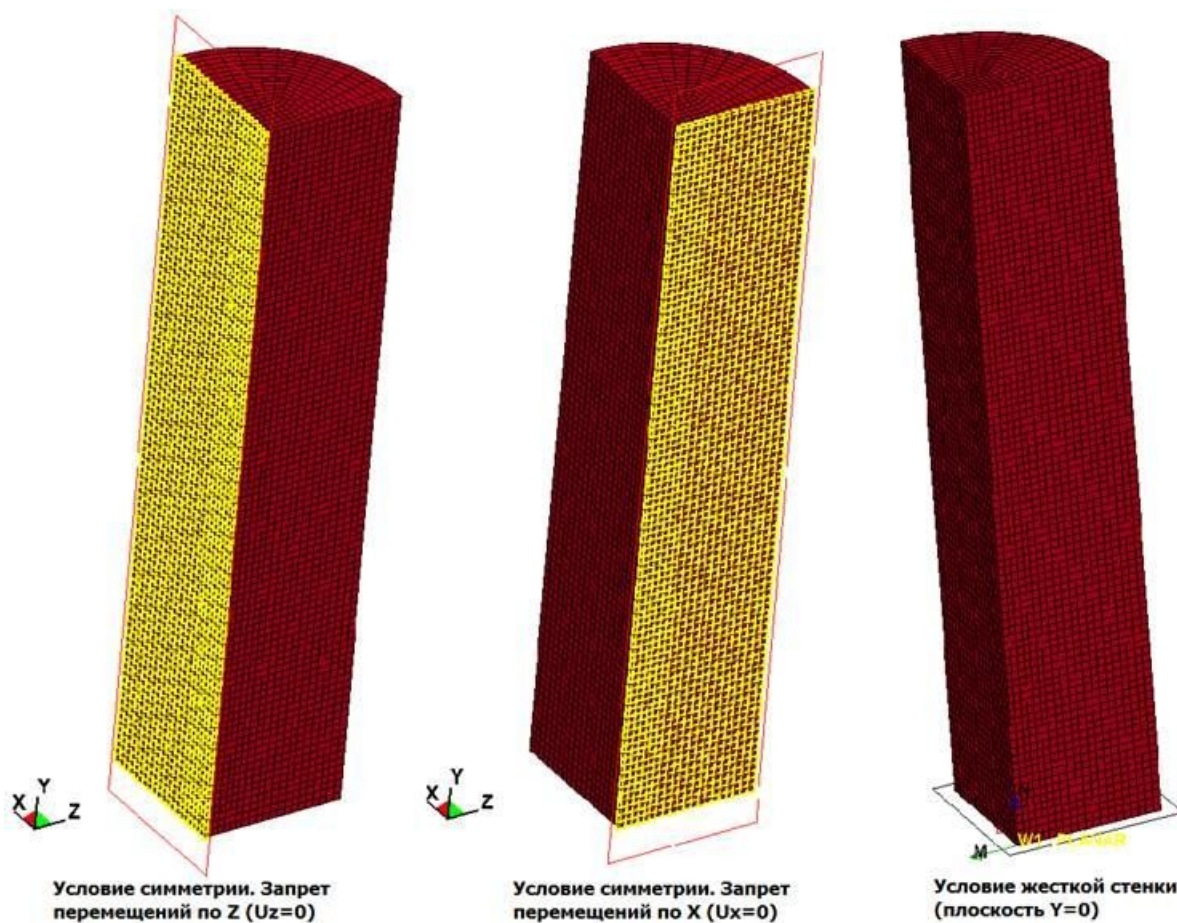
Начальная геометрия задачи приведена на рисунке:



Исходные данные задачи:

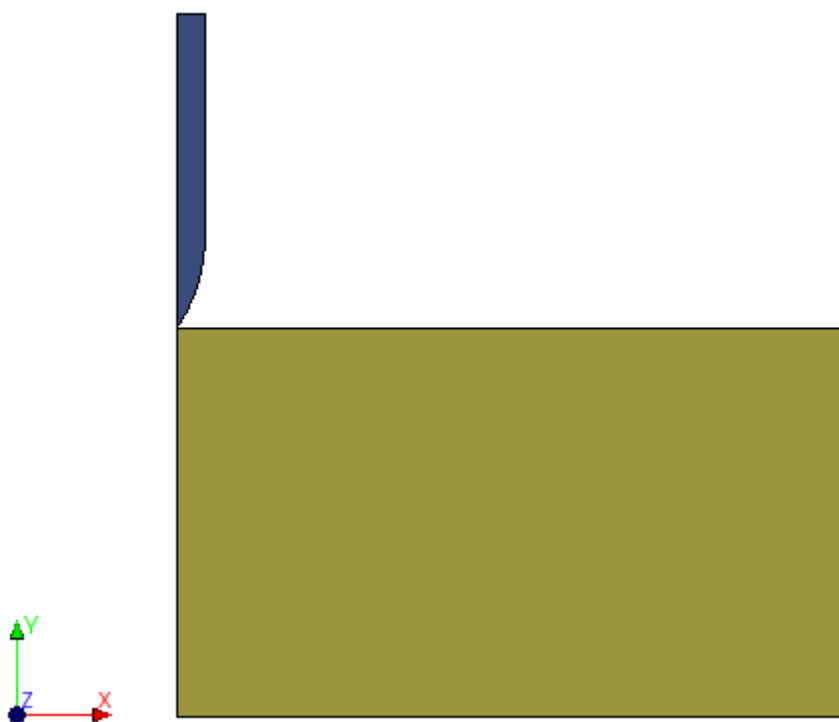
- плотность материала – $8,9 \text{ г/см}^3$;
- модуль Юнга – 100 ГПа ;
- коэффициент Пуассона – $0,33$;
- предел текучести – $0,18 \text{ ГПа}$;
- начальные условия – стержень движется с начальной скоростью $U_y = -0,1 \text{ км/с}$.

В силу симметрии конструкции моделировалась 1/4 часть с наложением условий симметрии. На плоскости $Y=0$ задавалось условие жесткой стенки. Граничные условия представлены на рисунке ниже:



Проникание стального ударника в бетон

Необходимо провести расчет пробития бетонной мишени с закрепленными краями стальным ударником. Начальная геометрия задачи приведена на рисунке:



Толщина мишени – 0,178 м, длина и ширина – 0,61 м. Длина цилиндрической части ударника – 101,6 мм, длина оживальной головной части – 42,1 мм.

Физико-механические характеристики материала ударника: плотность $\rho_0=8020$ кг/м³, номинальный предел текучести $\sigma_0=1,72$ ГПа.

Физико-механические характеристики материала мишени: начальная плотность $\rho_0=2,44$ г/см³, статическая прочность на сжатие $f_C=0,048$ ГПа.

Граничные условия: на края мишени наложены ограничения перемещения вдоль оси OY. Сетка состоит из 45540 элементов с плоской массой.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа) для оценки сформированности компетенции УК-3:

Задача о деформировании стержня. Метод Тейлора

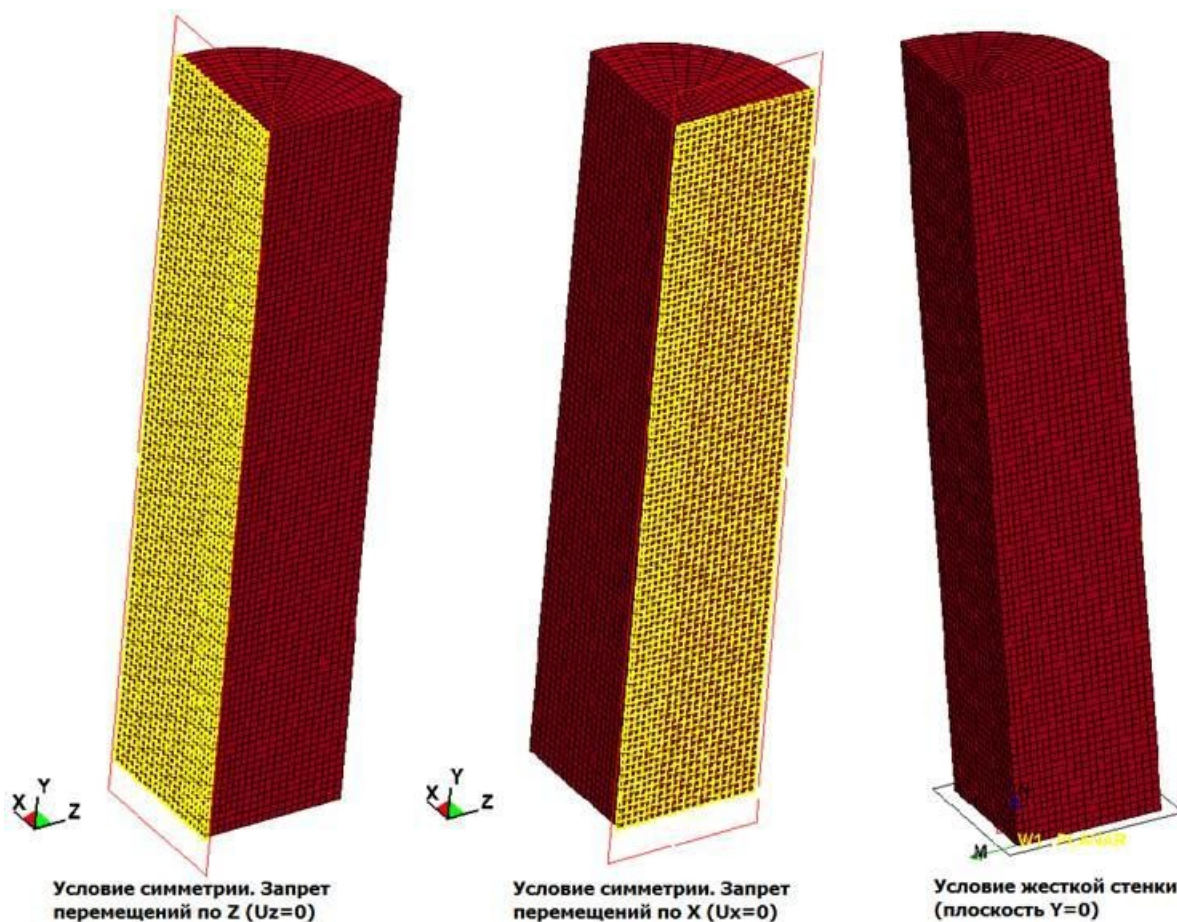
Начальная геометрия задачи приведена на рисунке:



Исходные данные задачи:

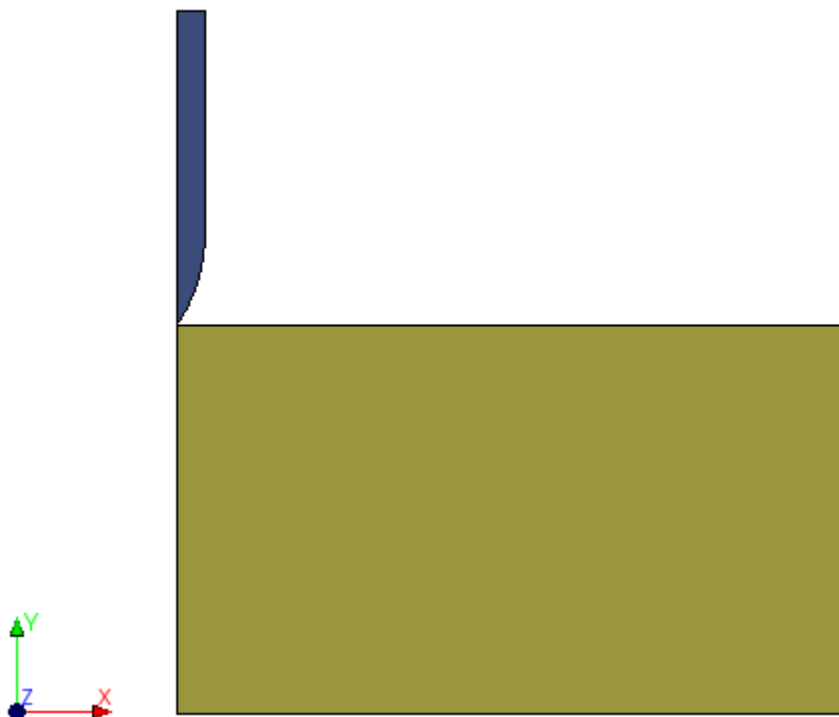
- плотность материала – $8,9 \text{ г/см}^3$;
- модуль Юнга – 100 ГПа ;
- коэффициент Пуассона – $0,33$;
- предел текучести – $0,18 \text{ ГПа}$;
- начальные условия – стержень движется с начальной скоростью $U_y = -0,1 \text{ км/с}$.

В силу симметрии конструкции моделировалась 1/4 часть с наложением условий симметрии. На плоскости $Y=0$ задавалось условие жесткой стенки. Граничные условия представлены на рисунке ниже:



Проникание стального ударника в бетон

Необходимо провести расчет пробития бетонной мишени с закрепленными краями стальным ударником. Начальная геометрия задачи приведена на рисунке:



Толщина мишени – 0,178 м, длина и ширина – 0,61 м. Длина цилиндрической части ударника – 101,6 мм, длина оживальной головной части – 42,1 мм.

Физико-механические характеристики материала ударника: плотность $\rho_0=8020$ кг/м³, номинальный предел текучести $\sigma_0=1,72$ ГПа.

Физико-механические характеристики материала мишени: начальная плотность $\rho_0=2,44$ г/см³, статическая прочность на сжатие $f_C=0,048$ ГПа.

Граничные условия: на края мишени наложены ограничения перемещения вдоль оси OY. Сетка состоит из 45540 элементов с плоской массой.

Критерии оценивания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-5:

Задача о деформировании стержня. Метод Тейлора

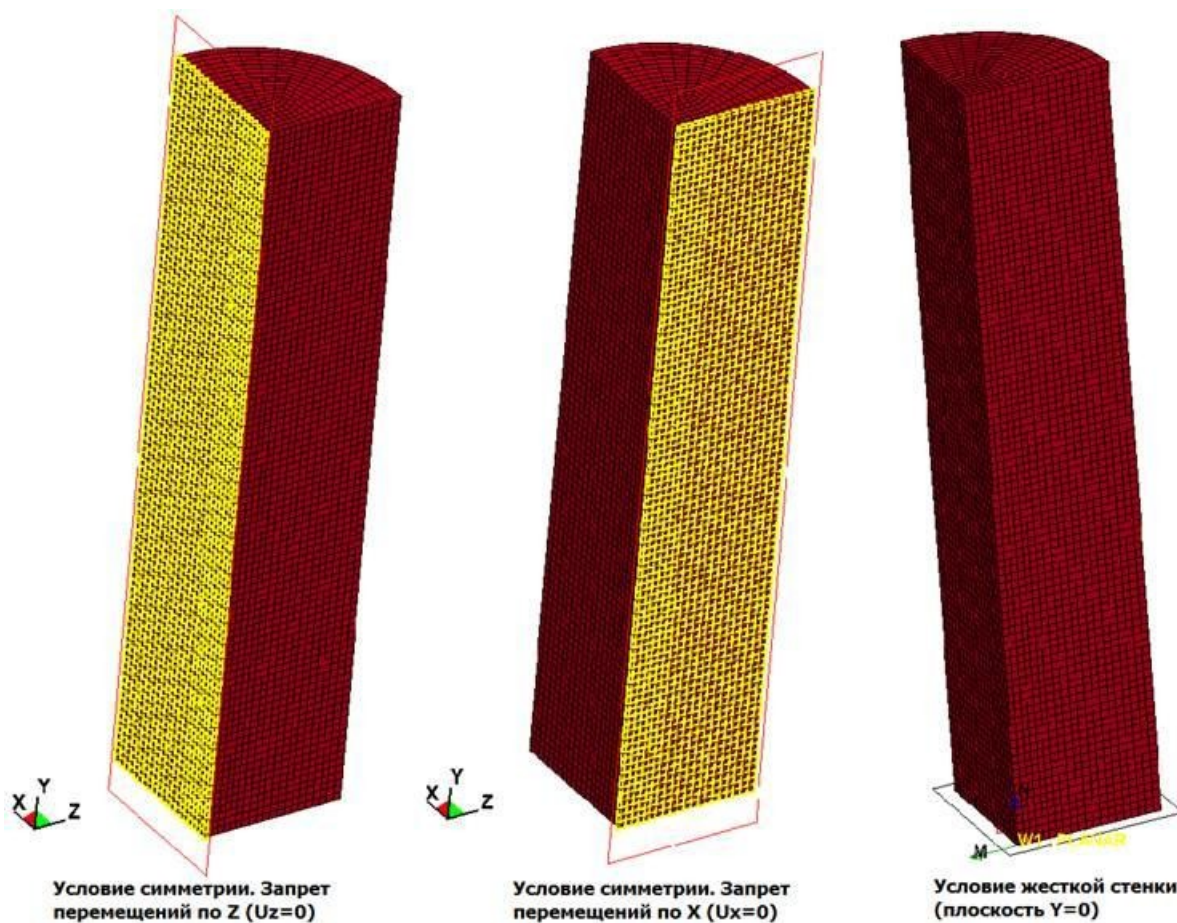
Начальная геометрия задачи приведена на рисунке:



Исходные данные задачи:

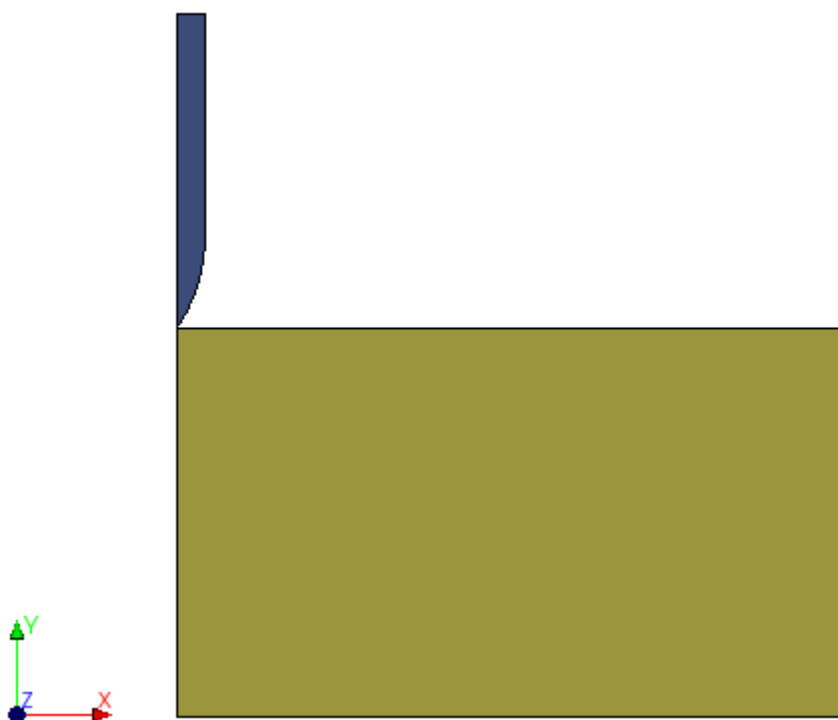
- плотность материала – $8,9 \text{ г/см}^3$;
- модуль Юнга – 100 ГПа ;
- коэффициент Пуассона – $0,33$;
- предел текучести – $0,18 \text{ ГПа}$;
- начальные условия – стержень движется с начальной скоростью $U_y = -0,1 \text{ км/с}$.

В силу симметрии конструкции моделировалась 1/4 часть с наложением условий симметрии. На плоскости $Y=0$ задавалось условие жесткой стенки. Граничные условия представлены на рисунке ниже:



Проникание стального ударника в бетон

Необходимо провести расчет пробития бетонной мишени с закрепленными краями стальным ударником. Начальная геометрия задачи приведена на рисунке:



Толщина мишени – 0,178 м, длина и ширина – 0,61 м. Длина цилиндрической части ударника – 101,6 мм, длина оживальной головной части – 42,1 мм.

Физико-механические характеристики материала ударника: плотность $\rho_0=8020$ кг/м³, номинальный предел текучести $Y_0=1,72$ ГПа.

Физико-механические характеристики материала мишени: начальная плотность $\rho_0=2,44$ г/см³, статическая прочность на сжатие $f_C=0,048$ ГПа.

Граничные условия: на края мишени наложены ограничения перемещения вдоль оси OY. Сетка состоит из 45540 элементов с плоской массой.

Задача о деформировании стержня. Метод Тейлора

Начальная геометрия задачи приведена на рисунке:

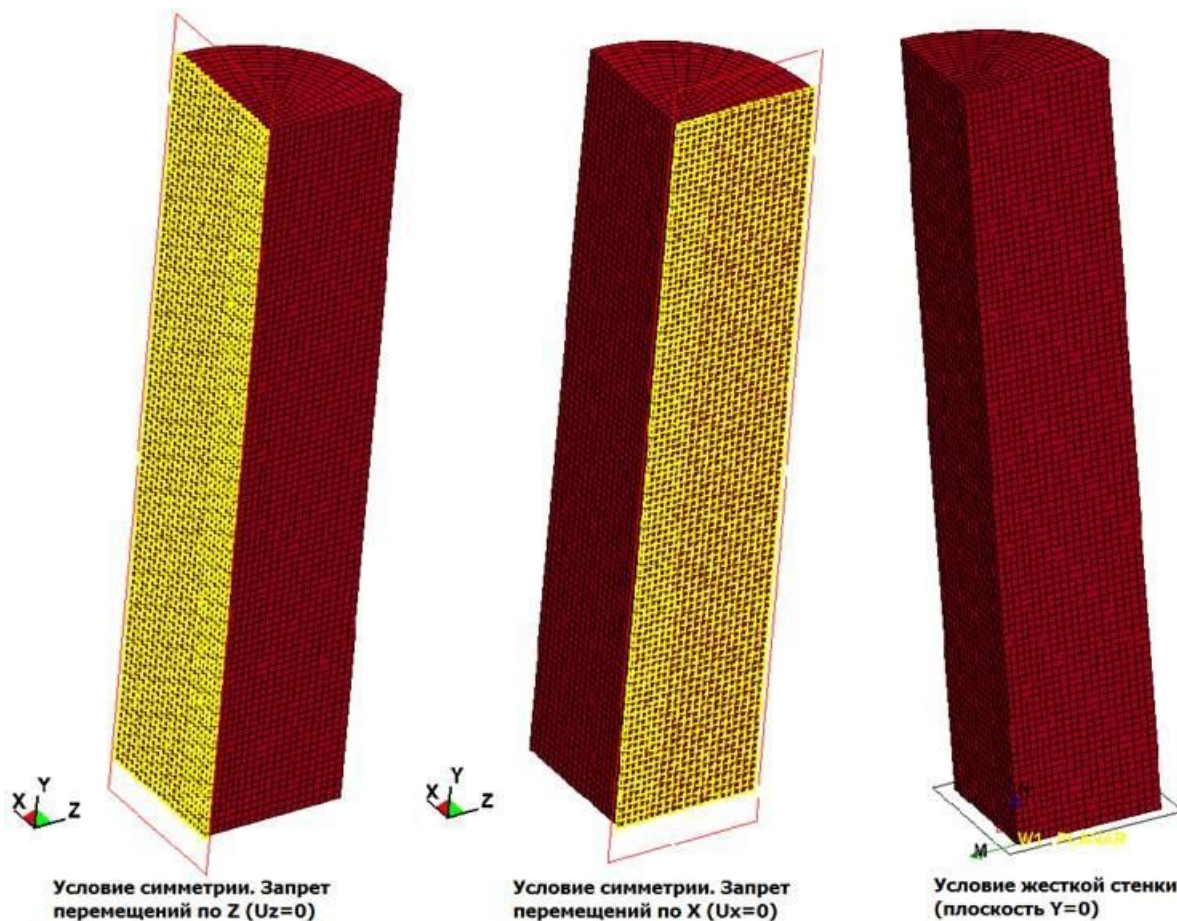


Исходные данные задачи:

- плотность материала – 8,9 г/см³;
- модуль Юнга – 100 ГПа;

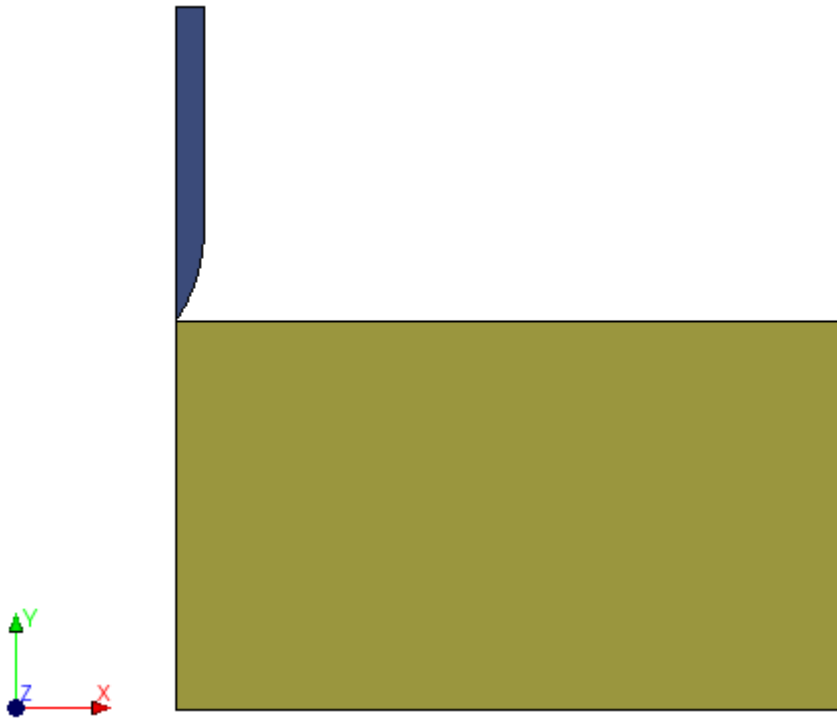
- коэффициент Пуассона – 0,33;
- предел текучести – 0,18 ГПа;
- начальные условия – стержень движется с начальной скоростью $U_y = -0,1$ км/с.

В силу симметрии конструкции моделировалась 1/4 часть с наложением условий симметрии. На плоскости $Y=0$ задавалось условие жесткой стенки. Граничные условия представлены на рисунке ниже:



Проникание стального ударника в бетон

Необходимо провести расчет пробития бетонной мишени с закрепленными краями стальным ударником. Начальная геометрия задачи приведена на рисунке:



Толщина мишени – 0,178 м, длина и ширина – 0,61 м. Длина цилиндрической части ударника – 101,6 мм, длина оживальной головной части – 42,1 мм.

Физико-механические характеристики материала ударника: плотность $\rho_0=8020$ кг/м³, номинальный предел текучести $\sigma_0=1,72$ ГПа.

Физико-механические характеристики материала мишени: начальная плотность $\rho_0=2,44$ г/см³, статическая прочность на сжатие $f_C=0,048$ ГПа.

Граничные условия: на края мишени наложены ограничения перемещения вдоль оси OY. Сетка состоит из 45540 элементов с плоской массой.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции УК-2

1. Нелинейные теории наследственности
2. Экспериментальная проверка теорий ползучести
3. Накоплений повреждений в материалах
4. Основные виды феноменологических моделей накопления повреждений
5. Модель поврежденного материала
6. Параметры, характеризующие поврежденность материала
7. Кинетические уравнения накопления повреждений
8. Вариант модели пластического деформирования конструкционных материалов
9. Альтернативный вариант модели пластического деформирования
10. Модель накопления пластических повреждений
11. Определение параметров упругости и материальных функций модели пластичности

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции УК-3

1. Параметры, характеризующие цикл нагружения
2. Предел выносливости
3. Кривая многоциклового усталости
4. Уравнения кривых многоциклового усталости
5. Основные типы моделей многоциклового усталости
6. Модель малоциклового усталости
7. Модель многоциклового усталости
8. Получение материальных функций модели малоциклового усталости
9. Получение материальных функций модели многоциклового усталости
10. Особенности деформирования конструкционных материалов в условиях радиационных воздействий

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-5

1. Основные закономерности упругопластического деформирования материалов
2. Деформирование материалов в условиях одноосного сжатия
3. Эффект Баушингера
4. Влияние на диаграмму упругопластического деформирования материала условий испытания
5. Условие текучести Мизеса
6. Поверхность текучести
7. Изотропное упрочнение
8. Кинематическое упрочнение
9. Комбинированное упрочнение
10. Теория пластического течения

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Казаков Дмитрий Александрович. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и конструкций : монография / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 1999. - 226 с. - 20.00., 1 экз.
2. Капустин Сергей Аркадьевич. Метод конечных элементов в задачах механики деформируемых тел : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2002. - 180 с. - ISBN 5-85746-574-5 : 100.00., 40 экз.

Дополнительная литература:

1. Волков Иван Андреевич. Уравнения состояния вязкоупругопластических сред с повреждениями : [монография]. - М. : Физматлит, 2008. - 424 с., 44 табл., 392 ил. - Библиогр.: с. 407 - 422. - ISBN 978-5-9221-0965-9 : 130.00., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Прикладная теория пластичности / Митенков Ф.М., Волков И.А., Игумнов Л.А., Каплиенко А.В., Коротких Ю.Г., Панов В.А. - Москва : Физматлит, 2015.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=647124&idb=0>
2. Капустин С.А., Чурилов Ю.А., Горохов В.А. Методические основы и алгоритмы компьютерного моделирования процессов деформирования и разрушения материалов и конструкций при квазистатических термостатических нагружения // Учебно-методическое пособие. Н.

Новгород., 2014. 111 с.

3. http://www.mmf.unn.ru/files/2014/01/Kapustin_DeformationAndDestructionProcesses.pdf

4. Пакет программ Логос, модуль Логос Прочность

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Горохов Василий Андреевич, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.