

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 № 12 от 26.12.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы теории пластичности

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

15.03.03 - Прикладная механика

Направленность образовательной программы

Инженерное приложение суперкомпьютерного моделирования

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.06 Основы теории пластичности относится к части, формируемой участниками образовательных отношений 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 |
| ПК-2: Умеет извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, научных сайтов и т.д., анализировать полученную информацию для применения в научной работе, а также публично представлять полученные результаты с учетом уровня аудитории | ПК-2.1: Умеет извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, научных сайтов и т.д. ПК-2.2: Знает методы анализа полученной информации, умеет применять ее в научной работе ПК-2.3: Имеет практический опыт публичного представления полученных результатов в соответствии с уровнем аудитории | ПК-2.1: Умеет извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, научных сайтов и т.д. ПК-2.2: Знает методы анализа полученной информации, умеет применять ее в научной работе ПК-2.3: Владеет навыками публичного представления полученных результатов в соответствии с уровнем аудитории | Допуск к лабораторной работе Собеседование | Экзамен: Контрольные вопросы Задания |
| ПК-3: Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира и современное экспериментальное оборудование, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных | ПК-3.1: Знает методологию определения круга задач в рамках поставленной цели. ПК-3.2: Умеет использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира и современное экспериментальное оборудование. ПК-3.3: Имеет практический опыт применения математически сложных алгоритмов в современных | ПК-3.1: Знает методологию определения круга задач в рамках поставленной цели. ПК-3.2: Умеет использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира и современное экспериментальное оборудование ПК-3.3: Владеет навыками | Допуск к лабораторной работе Собеседование | Экзамен: Контрольные вопросы Задания |

| | | | | |
|------------------------|---|---|--|--|
| программных комплексах | специализированных программных комплексах | применения математически сложных алгоритмов в современных специализированных программных комплексах | | |
|------------------------|---|---|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|-----------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 4 |
| Часов по учебному плану | 144 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 32 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 32 |
| - КСР | 2 |
| самостоятельная работа | 42 |
| Промежуточная аттестация | 36 экзамен |

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/лабораторные работы), часы | Всего | |
| | о ф о | о ф о | о ф о | о ф о | о ф о |
| 1. Теория деформаций | 22 | 8 | 6 | 14 | 8 |
| 2. Теория напряжений | 22 | 8 | 6 | 14 | 8 |
| 3. Теория пластичности. | 62 | 16 | 20 | 36 | 26 |
| Аттестация | 36 | | | | |
| КСР | 2 | | | 2 | |
| Итого | 144 | 32 | 32 | 66 | 42 |

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Теория деформаций
2. Теория напряжений
3. Теория пластичности.

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.

Выполнение домашних практических заданий с последующей проверкой и обсуждением.

Образовательный материал для самостоятельной работы студента

Котов В.Л., Линник Е.Ю., Тарасова А.А. РЕШЕНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ О РАСШИРЕНИИ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 46 с. – Фонд образовательных электронных ресурсов. Рег. № 809.14.06. http://www.unn.ru/books/met_files/Kotov.pdf

В учебно-методическом пособии рассматриваются аналитические и численные решения задач о расширении сферической полости в упругопластических средах для различных моделей сред. Подробно показан процесс приведения системы уравнений в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с помощью автомодельных преобразований, в ряде случаев получены аналитические решения. В приложении приведены алгоритмы численного решения начально-краевых задач методами стрельбы и Рунге-Кутты. Рассмотрены примеры решения различных вариантов задач.

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 - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Лабораторная работа 1 для оценки компетенции «ПК-2»:

Численное решение одномерной задачи о расширении с постоянной скоростью сферической полости из точки в сжимаемой упруго-пластической среде.

1.1. Вывод системы уравнений деформирования упруго-идеальнопластической среды с приближенным учетом сжимаемости среды. Приведение системы к безразмерному виду для численного нахождения автомодельного решения. Реализация программы на ЭВМ. Решение для некоторого известного материала на основе модели упруго-идеальнопластической среды. Построение графиков распределения скорости и напряжения вдоль безразмерной координаты в среде MS-Excel

1.2. Вывод системы уравнений деформирования упруго-идеальнопластической среды с приближенным учетом сжимаемости среды. Приведение системы к безразмерному виду для численного нахождения автомодельного решения. Реализация программы на ЭВМ. Решение для некоторого известного материала на основе модели упруго-идеальнопластической среды. Построение графиков распределения скорости и напряжения вдоль безразмерной координаты в среде MS-Excel, сравнение с решением п.1.1.

1.3. Вывод системы уравнений деформирования упруго-идеальнопластической среды в предположении несжимаемости среды. Приведение системы к безразмерному виду для аналитического нахождения автомодельного решения. Реализация программы на ЭВМ. Решение для некоторого известного материала на основе модели упруго-идеальнопластической среды. Построение графиков распределения скорости и напряжения вдоль безразмерной координаты в среде MS-Excel, сравнение с решением пп.1.1, 1.2.

1.4. Оформить отчёт по лабораторной работе 1

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Реализация численной схемы Уилкинса расчета одномерных упругопластических течений.

1.1. Постановка и численное решение задачи о распространении плоской волны в полупространстве. Решение задачи в упругой и упруго-идеальнопластической постановке. Построение графиков распределения скорости и напряжения вдоль координаты в среде MS-Excel. Сравнение решений.

1.2. Постановка и численное решение задачи о действии постоянной нагрузки на внутреннюю поверхность отрезка толстостенной цилиндрической трубы (задача Ламэ). Решение задачи в упругой и упруго-идеальнопластической постановке. Вывод аналитического решения задачи (упругая среда). Построение графиков распределения компонент тензора напряжений вдоль координаты в среде MS-Excel. Сравнение решений.

1.3. Постановка и численное решение задачи о действии постоянной нагрузки на внутреннюю поверхность полой толстостенной сферы. Решение задачи в упругой и упруго-идеальнопластической постановке. Вывод аналитического решения задачи (упругая среда). Построение графиков распределения компонент тензора напряжений вдоль координаты в среде MS-Excel. Сравнение решений.

1.4. Постановка и численное решение динамической задачи о расширении сферической полости из точки с постоянной скоростью. Решение задачи в упругой и упруго-идеальнопластической постановке. Построение графиков распределения скорости и напряжения вдоль координаты в среде MS-Excel. Сравнение решений с п. 1.

1.5. Оформить отчёт по лабораторной работе 2

Критерии оценивания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе)

| 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 не существенные 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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Лагранжев и Эйлеров подходы к описанию движения
2. Начальные и текущие координаты. Векторы перемещений и скорости
3. Операции с тензорами в евклидовом пространстве.
4. Градиенты перемещений и деформаций. Тензоры деформаций Коши и Грина.
5. Тензоры конечных деформаций Грина и Альманси.
6. Тензор малых деформаций. Соотношения Коши.
7. Условия совместности деформаций.
8. Инварианты тензоров деформаций.
9. Тензор напряжений Коши.
10. Уравнения равновесия, движения.
11. Уравнения Бельтрами-Митчелла.
12. Инварианты тензора напряжений.
13. Связь напряжений и деформаций.
14. Работа напряжений, дополнительная работа.
15. Закон Гука.
16. Постановка задач теории упругости.

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Перечислить условия пластического течения
2. Сформулировать концепцию предельной поверхности нагружения
3. Сформулировать основные положения теории пластического течения Мизеса
4. Сформулировать основные положения теории пластического течения Прандтля-Рейсса
5. Сформулировать основные положения теории пластического течения Прагера
6. Сформулировать основные положения теории пластического течения Генки
7. Сформулировать основные положения теории малых упругопластических деформаций Ильюшина

8. Сформулировать ассоциированный закон пластического течения, постулат Друкера
9. Перечислить законы пластического упрочнения
10. Сформулировать основные положения теории пластического течения Хилла (обобщение теории Прандтля-Рейсса)
11. Сформулировать основные положения теории пластического течения Прандтля-Рейсса
12. Сформулировать основные положения теории пластического течения Сен-Венана
13. Сформулировать основные положения теории пластического течения с изотропным упрочнением
14. Сформулировать основные положения теории пластического течения с линейным кинематическим упрочнением
15. Сформулировать основные положения теории пластического течения с трансляционно-анизотропным упрочнением Ишлинского Кадашевича-Новожилова

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

| 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 (индикатор достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|---|---|---|---------------------------------------|--|--|--|--|
| | не зачтено | | зачтено | | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место | Минимально допустимый уровень знаний. | Уровень знаний в объеме, соответствующем | Уровень знаний в объеме, соответствующем | Уровень знаний в объеме, соответствующем | Уровень знаний в объеме, превышающем программу |

| | | | | | | | |
|---------------|--|--|--|---|--|---|--|
| | оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | грубые ошибки | Допущено много негрубых ошибок | программе подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок | программе подготовки . Допущено несколько несущественных ошибок | программе подготовки и. Ошибок нет. | 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 | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами . | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы 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 некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован 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 ПК-2

1. Теория деформаций. Тензор Альманси
2. Теория деформаций. Тензор Грина
3. Теория деформаций. Тензор малых деформаций
4. Теория напряжений. Тензор Коши
5. Условия пластического течения
6. Концепция предельной поверхности нагружения
7. Теория пластического течения Мизеса
8. Теория пластического течения Прандтля-Рейсса

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

1. Теория пластического течения Прагера
2. Теория пластического течения Генки
3. Теория малых упругопластических деформаций Ильюшина
4. Ассоциированный закон пластического течения, постулат Друкера
5. Законы пластического упрочнения
6. Теория пластического течения Хилла (обобщение теории Прандтля-Рейсса)
7. Теория пластического течения Прандтля-Рейсса
8. Теория пластического течения Сен-Венана

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|-------------------|---|
| превосходно | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки |
| отлично | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок |
| очень хорошо | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок |
| хорошо | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок |
| удовлетворительно | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых |

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|---|
| | ошибки. |
| неудовлетворительно | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. |
| плохо | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа |

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Теория деформаций: векторы перемещений, скорости и ускорения в лагранжевом описании движения. Тензор деформаций Грина и малых деформаций Коши. Пример – закон движения $x_1 = \xi_1, x_2 = -(1+b)\xi_1, x_3 = \xi_3, b=\text{const} > -1$
2. Теория деформаций: векторы перемещений, скорости и ускорения в эйлеровом описании движения. Тензор деформаций Альманси и малых деформаций Коши. Пример – закон движения $x_1 = \xi_1 + a\xi_1, x_2 = \xi_2, x_3 = \xi_3, a=\text{const}$
3. Теория деформаций: векторы перемещений, скорости и ускорения в лагранжевом описании движения. Тензор деформаций Грина и малых деформаций Коши. Пример – закон движения $x_1 = \xi_1 + a\xi_1, x_2 = \xi_2 + a\xi_2, x_3 = \xi_3 + a\xi_3$

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Ассоциированный закон пластического течения, постулат Друкера
2. Концепция предельной поверхности нагружен
3. Теория пластического течения Мизеса

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

| Оценка | Критерии оценивания |
|--------------|---|
| превосходно | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки |
| отлично | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок |
| очень хорошо | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок |
| хорошо | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок |

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|---|
| удовлетворительно | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. |
| неудовлетворительно | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. |
| плохо | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа |

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

Основная литература:

1. Работнов Юрий Николаевич. Механика деформируемого твердого тела : [учеб. пособие для ун-тов]. - М. : Наука, 1979. - 744 с. : ил. - 1.90., 3 экз.
2. Качанов Лазарь Меерович. Основы теории пластичности : [учеб. пособие для ун-тов]. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1969. - 420 с. : ил. - 0.52., 10 экз.
3. Малинин Николай Николаевич. Прикладная теория пластичности и ползучести : учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1975. - 399 с. - 1.20., 10 экз.

Дополнительная литература:

1. Котов В. Л. Решение задачи о расширении сферической полости в упругопластической среде (лабораторная работа) : учебно-методическое пособие / Котов В. Л. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2018. - 30 с. - Рекомендовано научно-методическим советом исследовательской школы «Компьютерная и экспериментальная механика» для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 01.03.03 «Механика и математическое моделирование». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=709489&idb=0>.
2. Котов В. Л. Численный расчет одномерных упругопластических течений (лабораторная работа) : учебно-методическое пособие / Котов В. Л. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2018. - 45 с. - Рекомендовано научно-методическим советом исследовательской школы «Компьютерная и экспериментальная механика» для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 010303 «Механика и математическое моделирование». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=709490&idb=0>.

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

1. компилятор с языка программирования C++.
2. Visual Studio

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

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 ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 - Прикладная механика.

Автор(ы): Волков Иван Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 10.10.2023 г., протокол № 2.