

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

Конечно-элементное моделирование

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.ДВ.01.01 Конечно-элементное моделирование 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 | Практическое задание | Зачёт: 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 | 32 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 32 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 43 |

| | |
|--------------------------|------------|
| 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/лабораторные работы), часы | Всего | |
| | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 |
| Основы работы в ПП ЛОГОС. Интерфейс. Решение базовых задач в интерактивном режиме. | 8 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| Задание свойств материала. Выбор типа элементов. | 11 | 4 | 4 | 8 | 3 |
| Построение геометрии области. | 14 | 4 | 4 | 8 | 6 |
| Получение и анализ решения задач о растяжении, сжатии, кручении и изгибе стержня. | 14 | 4 | 4 | 8 | 6 |
| Работа с файлами результатов. | 10 | 2 | 2 | 4 | 6 |
| Работа с входными файлами для командного режима | 12 | 4 | 4 | 8 | 4 |
| 7. Метод конечных элементов | 12 | 4 | 4 | 8 | 4 |
| Стержневые системы | 14 | 6 | 4 | 10 | 4 |
| Плоские и пространственные задачи для линейноупругих тел | 12 | 2 | 4 | 6 | 6 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 108 | 32 | 32 | 65 | 43 |

Содержание разделов и тем дисциплины

- Интерфейс и основные возможности ПП ЛОГОС
- Основные типы элементов и соответствующие им наборы материальных параметров. Команды для задания типа элементов и параметров материала.
- Создание области. Узлы, ключевые точки. Построение двумерных областей. Системы координат и их типы. Построение кривых по ключевым точкам. Построение областей. Булевы операции с множествами (объединение, пересечение, разность). Построение объемных тел, экструзия плоской области.
- Режимы анализа. Создание сети элементов. Краевые условия. Задание закреплений и нагрузок с использованием линий и узлов. Решение задач на растяжение, сжатие, кручение, изгиб устойчивость стержней из заданного материала с различной геометрией, граничными условиями. Исследование задачи об установившихся продольных колебаниях стержня. Анализ полученных результатов, построение графиков основных характеристик напряженно-деформированного состояния, сравнение результатов с аналитическими решениями.

5. Графические файлы, анализ файлов логов и ошибок, сохранение результатов работы в графических и текстовых файлах для использования в других приложениях, построение диаграмм. Сохранение построенной модели в файле с базой данных.
6. Создание и редактирование входного файла, основные разделы, команды и конструкции языка для построения геометрии объекта, выбора модели, задания свойств материала и граничных условий, типа элементов сетки разбиения, представления результатов расчетов. Преимущества и недостатки командного интерактивного режима.
7. Метод конечных элементов: введение в метод конечных элементов, формулировка метода конечных элементов, моделирование конечных элементов, автоматическое построение сетки, топологическое разбиение, геометрическое разбиение, решеточные методы, повышение качества сетки
8. Задание плоских и пространственных стержневых конструкций в ПП ЛОГОС, схемы нагрузки и закреплений. Расчет стержневых конструкций по модели фермы и модели рамы. Определение усилий и деформаций в стержнях, перемещение узлов, оценка прочности. Сравнение двух моделей. Вычисление собственных частот стержневых конструкций.
9. Введение в теорию прочности. Понятие эквивалентных напряжений и различные критерии прочности. Задание геометрии сложных деталей и элементов конструкций как двухмерных и трехмерных тел. Задание схем нагрузки и граничных условий. Расчет напряженно-деформированного состояния деталей и анализ их прочности. Примеры расчетов тел с полостями и включениями. Концентрация напряжений вблизи неоднородностей.

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.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточной аттестации.

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 - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. По заданным граничным условиям и геометрии стержня найти изменение длины, напряжения и смещения стержня в различных сечениях. Для трехмерного случая найти изменения диаметра в среднем сечении, определить коэффициент Пуассона вдали от места закрепления и сравнить найденное значение с заданной величиной. Оценить погрешность вычислений, проведенных в ПП ЛОГОС.

2. По заданному значению сжимающей нагрузки провести анализ устойчивости стержня. Сравнить результаты расчетов с аналитическим решением. Рассмотреть различные случаи закрепления стержня.
3. Решить задачу о кручении стержня. Построить графики моментов, напряжений и деформированный стержень.
4. Решить задачу об изгибе стержня. Построить графики моментов, напряжений и деформированный стержень.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

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

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 | 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 | 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, выполнен | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |

| | | | | | | | |
|---------------|--|---|--|--|--|--|---|
| | | | | недочетами | | ы все задания в полном объеме | |
| <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. Создание, изменение, сохранение проекта. Расположение основных элементов главного меню с проектом и работы с ними.
2. На конкретном примере задать и изменить свойства материала из библиотеки.
3. Продемонстрировать задание и изменение типа элемента. Описать преимущества и недостатки различных типов элементов.

4. Описать особенности применения различных сеток разбиения с различными характеристиками для решения задач. Демонстрация настройки разбиения области.
5. Выполнение построения объектов канонической и неканонической формы для двумерного и трехмерного случая с использованием основных операций по работе с областями.
6. Построение области с помощью экструзии. Загрузка геометрии области из других приложений.
7. Построение сложных областей с периодическими фрагментами.
8. Построение стержня заданной формы, постановка граничных условий на модельном примере. Построение графиков заданных величин.
9. Анализ файлов ПП ЛОГОС – графические, файл логов и ошибок, файлы данных. Выгрузка данных расчетов в другие приложения и основы их обработки.
10. Основные разделы входного файла, синтаксис и команды.
11. Аналитические условия равновесия конструкции и её части. Сопротивление конструкции, условия разрушения конструкции.
12. Общий ход решения задач на основе метода конечных элементов. Области применения МКЭ.
13. Типы конечных элементов и области их применения. Характеристики жёсткости конечных элементов.
14. Недостатки МКЭ в перемещениях. Задачи и направления развития МКЭ.
15. Матрица жёсткости элементов. Причины неустойчивости решения задач МКЭ. Причины погрешностей компьютерных моделей.
16. Принцип возможных перемещений. Работа внутренних усилий, работа внешних нагрузок, полная энергия. Методика прямого приближённого решения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| 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. |

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

Основная литература:

1. Каледин В. О. Методы конечных и граничных элементов : учебное пособие / Каледин В. О. - Новокузнецк : НФИ КемГУ, 2017. - 102 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции НФИ КемГУ - Математика. - ISBN 978-5-8353-1971-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=753698&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Васильева Валентина Никитична. Введение в теорию метода конечных элементов. - Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1986. - 149 с. : ил. - 0.25., 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.

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

1. Онлайн-ресурс издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>
2. Интернет-университет информационных технологий «Интуит» <http://www.intuit.ru>
3. Университетская библиотека online <https://biblioclub.ru/>
4. образовательный ресурс для математиков <https://zbmath.org/> <https://zbmath.org/>

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): Втюрин Максим Юрьевич, кандидат физико-математических наук.

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