

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Численное моделирование динамики распределенных систем

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Прикладная математика и информатика (общий профиль)

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.05 Численное моделирование динамики распределенных систем 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-6: Способен изучать и применять программное обеспечение, проводить расчётные работы и выполнять обработку результатов исследований | <p>ПК-6.1: Знает методы применения современных программных комплексов, пакетов прикладных программ и автоматизированных систем для решения прикладных задач при проведении исследований.</p> <p>ПК-6.2: Умеет самостоятельно проводить расчётные работы, выбирать и применять современные программные комплексы, пакеты прикладных программ и автоматизированные системы, обрабатывать и анализировать полученные результаты.</p> <p>ПК-6.3: Имеет практический опыт применения современного программного обеспечения для решения прикладных задач.</p> | <p>ПК-6.1: Знает основные понятия, определения и уравнения движения сплошной среды; методы создания математических моделей движения сплошной среды и расчетных моделей в программном комплексе Ansys.</p> <p>ПК-6.2: Умеет анализировать математические модели, описывающие процессы в распределенным системах. Уметь корректно использовать методы создания, анализа математических и расчетных моделей.</p> <p>Уметь проводить расчет, визуализацию и анализ результатов численных исследований, полученных в программном комплексе Ansys,</p> <p>Умеет проверять корректность полученного численного решения.</p> <p>ПК-6.3: Имеет практический опыт применения программного комплекса Ansys для решения прикладных задач.</p> | Практическое задание | Зачёт: Контрольные вопросы |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|--------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 2 |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 16 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 16 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 39 |
| 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 |
| 1. Введение Основы векторного анализа Основные понятия и уравнения сплошной среды. | 1 | 1 | | 1 | |
| 2. Идеальная жидкость. | 8 | 3 | 1 | 4 | 4 |
| 3. Вязкая жидкость. | 8 | 2 | 1 | 3 | 5 |
| 4. Пограничный слой. | 6 | 1 | | 1 | 5 |
| 5. Теплопроводность. | 10 | 4 | 1 | 5 | 5 |
| 6. Конвективный теплообмен. | 8 | 2 | 1 | 3 | 5 |
| 7. Теплообмен в жидкостях и газах. | 7 | 2 | | 2 | 5 |
| 8. Состав и назначение основных модулей программного комплекса Ansys. Алгоритм моделирования в Ansys. | 23 | 1 | 12 | 13 | 10 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | | 1 |
| Итого | 72 | 16 | 16 | 33 | 39 |

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение

Основы векторного анализа

Основные понятия и уравнения сплошной среды

Кинематика деформируемой среды. Точка зрения Эйлера и Лагранжа на изучение движения сплошной среды.

2. Идеальная жидкость

Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Граничные и начальные условия. Гидростатика, уравнение Бернулли. Поток энергии, поток импульса. Сохранение циркуляции скорости. Потенциальное движение жидкости. Несжимаемая жидкость.

3. Вязкая жидкость

Уравнения движения вязкой жидкости. Закон подобия. Диссипация энергии в несжимаемой жидкости. Течение по трубе. Движение жидкости между вращающимися цилиндрами. Ламинарное движение жидкости. Турбулентность.

4. Пограничный слой

Общие сведения из теории пограничного слоя. Ламинарный пограничный слой. Логарифмический профиль скоростей. Переход из ламинарной формы в турбулентную. Турбулентное течение в трубе. Турбулентный пограничный слой. Теплопередача в пограничном слое.

5. Теплопроводность

Основной закон теплопередачи.

6. Конвективный теплообмен

Общие понятия и определения. Дифференциальные уравнения теплообмена. Основы теории подобия.

7. Теплообмен в жидкостях и газах

Теплопередача при течении жидкости в трубах. Теплоотдача при свободной конвекции. Теплоотдача при обтекании плоской поверхности (пластин).

8. Состав и назначение основных модулей программного комплекса Ansys. Алгоритм моделирования в Ansys.

О вычислительной гидродинамике и программном комплексе Ansys. Графический интерфейс пользователя. Основные модули ПК Ansys: препроцессор, солвер, постпроцессор – назначение и функции. Создание геометрии (расчетной области) задачи с использованием пакета SolidWorks, Физико-математическая постановка задачи: выбор математической модели, ввод физических параметров, ввод начальных и граничных условий. Подготовка к численному моделированию: построение расчетной сетки, ввод параметров численного расчета. Расчет с помощью солвера. Подготовка к визуализации результатов: визуализация скалярных полей, визуализация интегральных характеристик течения, визуализация векторного поля скорости.

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.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "ЭУК "Численное моделирование динамики распределенных систем (Грезина А.В.)" (<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=5258>).

Иные учебно-методические материалы: Самостоятельная работа студента заключается

1. В ознакомлении с теоретическим материалом по учебникам, указанным в списке литературы
2. В выполнении практических заданий и оформлении отчета о проделанной работе в виде,

близком к формату научного отчета.

3. В подготовке ответов на вопросы для собеседования.

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-6:

| № п.п. | Тема | |
|--------|--|--------------------------|
| 1 | Численное моделирование ламинарного течения вязкой несжимаемой жидкости в трубе | Практическое задание № 1 |
| 2 | Численное моделирование течения вязкой несжимаемой жидкости в канале переменного сечения | Практическое задание № 2 |
| 3 | Численное моделирование движения вязкой несжимаемой жидкости во вращающемся баке | Практическое задание № 3 |
| 4 | Численное моделирование обтекания круглого цилиндра вязкой несжимаемой жидкостью | Практическое задание № 4 |
| 5 | Численное моделирование падения шара в вязкой несжимаемой жидкости | Практическое задание № 5 |
| 6 | Численное моделирование движения вязкой несжимаемой жидкости между вращающимися сферами | Практическое задание № 6 |

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | Практическое задание выполнено в полном объеме, отчет правильно и аккуратно оформлен. Сдан преподавателю в срок. |
| не зачтено | Практическое задание выполнено не в полном объеме или не выполнено. |

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 и 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 ПК-6

1. Предмет и методы механики сплошной среды. Основные гипотезы сплошной среды. Точка зрения Эйлера и Лагранжа на изучение движения сплошной среды.
2. Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Граничные и начальные условия.
3. Гидростатика, уравнение Бернулли.
4. Поток энергии, поток импульса.
5. Сохранение циркуляции скорости.
6. Потенциальное движение.
7. Несжимаемая жидкость.
8. Уравнения движения вязкой жидкости.
9. Закон подобия.
10. Ламинарное движение жидкости.
11. Турбулентность.
12. Течение по трубе.
13. Ламинарный пограничный слой.

- 14.Логарифмический профиль скоростей.
- 15.Переход из ламинарной формы в турбулентную.
- 16.Турбулентное течение в трубе.
- 17.Турбулентный пограничный слой.
- 18.Теплопередача в пограничном слое.
- 19.Основной закон теплопередачи.
- 20.Конвективный теплообмен.
- 21.Дифференциальные уравнения теплообмена.
- 22.Теплопередача при течении жидкости в трубах.
- 23.Теплоотдача при свободной конвекции.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок. |
| не зачтено | При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале. |

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

Основная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 6. Гидродинамика : Учебное пособие. - 6-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2015. - 728 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1625-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741031&idb=0>.
2. Механика сплошных сред / Черняк В.Г., Суетин П.Е. - Москва : Физматлит, 2006., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=634811&idb=0>.
3. Бирюков А. Н. Вычислительная газогидродинамика, тепломассообмен и компьютерный инжиниринг : учебник / Бирюков А. Н.,Карнаух В. В.,Ржесик К. А. - Донецк : ДонНУЭТ имени Туган-Барановского, 2021. - 177 с. - Книга из коллекции ДонНУЭТ имени Туган-Барановского - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=863623&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Жидков А. В. Вычислительная гидродинамика. математические модели жидкостей и газов :

учебно-методическое пособие / Жидков А. В., Любимов А. К. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2021. - 42 с. - Рекомендовано методической комиссией института информационных технологий, математики и механики для студентов ННГУ, обучающихся по специальности 01.05.01 Фундаментальная математика и механика, по направлениям 01.03.03 Механика и математическое моделирование, 01.03.02 Прикладная математика и информатика, 01.03.01 Математика, 02.03.01 Математика и компьютерные науки. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=783172&idb=0>.

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

1. Программный комплекс Ansys academic student edition 2024r1 win64 (академическая лицензия).

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 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Грезина Александра Викторовна, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Иванченко Михаил Васильевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.