

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

Численные методы в механике жидкости

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

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.31 Численные методы в механике жидкости 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
ПК-1: Способен анализировать поставленную задачу, используя знания фундаментальных физико-математических и компьютерных наук, проводить расчетно-экспериментальные работы и исследования, обрабатывать и анализировать результаты, оформлять отчетную документацию	ПК-1.1: Имеет необходимые для анализа поставленной задачи знания в области фундаментальных физико-математических и компьютерных наук ПК-1.2: Умеет проводить экспериментальные работы и исследования, обрабатывать и анализировать результаты ПК-1.3: Имеет практический опыт в оформлении отчетной документации	ПК-1.1: Имеет необходимые для анализа поставленной задачи знания в области фундаментальных физико-математических и компьютерных наук ПК-1.2: Умеет проводить экспериментальные работы и исследования, обрабатывать и анализировать результаты ПК-1.3: Владеет навыками оформления отчетной документации.	Расчетно-графическая работа	Экзамен: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	26
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	52
- КСР	2
самостоятельная работа	64

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	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1. Введение	5	3	0	3	2
2. Основы теории крыла	5	3	0	3	2
3. Уравнения движения жидкости	5	3	0	3	2
4. Схемы численного решения	5	3	0	3	2
5. Принципы построения сеток	5	3	0	3	2
6. Критерии подобия	5	3	0	3	2
7. Турбулентность	6	4	0	4	2
8. Вихреразрешающие модели	7	4	0	4	3
9. Расчет аэродинамических характеристик крыльевого профиля	44	0	22	22	22
10. Отрывное обтекание цилиндра	11	0	6	6	5
11. Теплоперенос, конвекция в полости	11	0	6	6	5
12. Моделирование винта	11	0	6	6	5
13. Обтекание кузова автомобиля	11	0	6	6	5
14. Задача с поверхностью раздела сред	11	0	6	6	5
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	180	26	52	80	64

Содержание разделов и тем дисциплины

Лекции:

Введение. Проводится обзор этапов решения задач с использованием инструментов вычислительной гидроаэродинамики. Приводятся примеры решения проектных задач

Основы теории крыла. Приводятся основные определения (геометрические и аэродинамические характеристики) крыла. Формулируется физическая постановка задачи об определении характеристик крыльевого профиля.

Уравнения движения жидкости. Выводятся уравнения движения жидкости (Навье - Стокса), начальные, граничные условия. Формулируется математическая постановка задачи об определении

аэродинамических характеристик крыльевого профиля

Численные схемы решения уравнений. Дается обзор численных схем, использующихся в современных вычислительных кодах для решения уравнений движения жидкости

Принципы дискретизации. Рассматриваются принципы построения сеточных моделей, требования к качеству пространственной и временной дискретизации. Число Куранта. Структурированные и неструктурированные типы сеточных моделей.

Обработка результатов. Приводятся основные элементы анализа картин течения (скалярные, векторные поля, линии тока, поверхности завихренности, эпюры)

Сведения из теории размерностей и подобия. Приводятся сведения из теории размерности и подобия.

Дается определение чисел Рейнольдса, Эйлера, Фруда, автомодельности по числу подобия. Примеры автомодельности характеристик по числу Эйлера. Объясняются коэффициенты аэродинамических сил крыльевого профиля C_x , C_y , m_z , K .

Турбулентность. Дается определение турбулентности. Приводится мат аппарат, используемый для описания турбулентности. Модель пути смешения Прандтля. Обзор RANS моделей турбулентности. Ле

Пограничный слой. Сведение из теории пограничного слоя. Компьютерное моделирование течения в пограничном слое. Принципы дискретизации, призматические пристеночные слои, Y^+ .

Вихреразрешающие модели. Описание вихреразрешающих подходов к моделированию турбулентных течений. DES, LES, DNS

Доп. теория. Моделирование динамики полета. Вопросы устойчивости компоновки ЛА. Уравнения и численное решение. Демпфирование.

Практика

Расчет аэродинамических характеристик крыльевого профиля в модуле Логос Аэро-Гидро пакета программ Логос. Знакомство с интерфейсом ПО. Построение геометрии и расчетной области.

Инструменты построения сеточных моделей. Пространственная дискретизация, построение сеточной модели. Пространственная дискретизация, построение сеточной модели.

Задание параметров модели (ламинарная постановка). Расчеты, обработка результатов. Исследования влияния размеров расчетной области. Турбулентная постановка, корректировка сетки по y^+ .

Отладочные расчеты. Обеспечение $y^+=1$. Исследования сеточной сходимости. Исследования сеточной сходимости. Выбор постановки. Расчеты во всем диапазоне углов атаки. Сравнение с экспериментом, анализ результатов. Визуализация потока, анализ результатов

Задача об отрывном обтекании цилиндра на базе RANS подходов к моделированию турбулентности.

Демонстрация теоретических материалов на задаче об обтекании цилиндра (совместно с обучающимися)

Задача об отрывном обтекании цилиндра на базе LES подходов к моделированию турбулентности.

Демонстрация теоретических материалов по моделированию турбулентности на задаче об обтекании цилиндра (совместно с обучающимися)

Тепломассоперенос, задача о конвекции в полости. Физико-математическая постановка задачи. Решение задачи (совместно с обучающимися). Анализ результатов и сравнение с экспериментом

Проектные задачи. Моделирование характеристик гребного винта. Физико-математическая постановка задачи. Решение задачи (совместно с обучающимися). Анализ результатов и сравнение с экспериментом

Проектные задачи. Моделирование обтекания кузова автомобиля. Физико-математическая постановка задачи. Решение задачи (совместно с обучающимися). Анализ результатов.

Лагранжево-Эйлеров подход. Моделирование распыла капель в воздушном потоке. Физико-математическая постановка задачи. Решение задачи (совместно с обучающимися). Анализ результатов.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 2 ч.

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,
- 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 промежуточному контролю успеваемости (экзамен).

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 ПК-1:

Расчет аэродинамических характеристик крыльевого профиля NASA0012 в модуле Логос Аэро-Гидро пакета программ Логос

Исходные данные и допущения:

- Предполагается, что течение носит двумерный стационарный характер.
- Используется принцип обращения движения.
- Воздух рассматривается как несжимаемая среда.
- Режим течения турбулентный.
- Скорость полета 50 м/с

Требуется определить (на разных углах атаки) и сравнить с экспериментальными данными

- Коэффициент подъемной силы $C_y(\alpha)$
- Коэффициент сопротивления $C_x(\alpha)$
- Распределение коэффициента давления C_p на профиле по длине хорды при углах атаки 0 и 10 градусов

Требуется получить решение в 2-х постановках:

- Ламинарный режим течения, условие непротекания на профиле (без моделирования пограничного слоя)
- Турбулентный режим течения, условие прилипания на профиле (с моделированием турбулентного пограничного слоя)

Критерии оценивания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Подготовка отчета по задаче расчета аэродинамических характеристик крыльевого профиля, содержащего физико-математическую постановку задачи, результаты моделирования, сравнение с экспериментальными данными и анализ.
не зачтено	Отсутствие отчета

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	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без

			задания, но не в полном объеме	все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	объеме, но некоторые с недочетами	несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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-1

1. Модели жидкости
2. Уравнения движения жидкости
3. Численные схемы решения уравнений движения жидкости

4. Турбулентность
5. Теория подобия
6. Этапы подготовки моделей

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 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. Моделирование движительно-рулевого комплекса судна на воздушной подушке : учебно-методическое пособие / В. В. Шабаров, П. С. Кальясов, Л. А. Игумнов, В. А. Шапошников ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 50 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851315&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен : в 2 т. Т. 1 / пер. с англ. С. В. Сенина, Е. Ю. Шальмана ; под ред. Г. Л. Подвидза. - М. : Мир, 1990. - 384 с. : ил. - ISBN 5-03-001927-8 : 1.80., 1 экз.
2. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен : в 2 т. Т. 2 / пер. с англ. С. В. Сенина, Е. Ю. Шальмана ; под ред. Г. Л. Подвидза. - М. : Мир, 1990. - 723, [3] с. : ил. - ISBN 5-03-001928-6 : 1.80., 1 экз.
3. Численное решение многомерных задач газовой динамики / под ред. С. К. Годунова. - М. : Наука, 1976. - 400 с. : ил. - 1.75., 3 экз.

4. Коннор Дж. Метод конечных элементов в механике жидкости / пер. с англ. Н. Б. Плисова, К. В. Рождественского. - Л. : Судостроение, 1979. - 263 с. : ил. - 3.00., 2 экз.
5. Пейре Роже. Вычислительные методы в задачах механики жидкости / пер. с англ. и ред. Н. Е. Вольцингера [и др.]. - Л. : Гидрометеиздат, 1986. - 351, [1] с. : ил. - 4.40., 1 экз.
6. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / пер. с англ. В. А. Гущина, В. Я. Мясницкого ; под ред. П. И. Чушкина. - М. : Мир, 1980. - 616 с. : ил. - 3.40., 2 экз.

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

1. Пакет программ ЛОГОС
2. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm>
<http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/128.pdf>
<http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/58.pdf>
<http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2006/3.pdf>
http://www.unn.ru/books/met_files/shabarov.doc

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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 15.03.03 - Прикладная механика.

Автор(ы): Шабарова Любовь Васильевна, кандидат технических наук
Кальясов Павел Сергеевич, кандидат технических наук.

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

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