

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 механики жидкостей

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Направленность образовательной программы

Информационное и программное обеспечение. Инженерия

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 Численные методы механики жидкостей 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: Владение навыками самостоятельного анализа поставленной задачи, выбора корректного метода ее решения, построения алгоритма и его реализации	ПК-6.1: Умеет самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его ПК-6.2: Владеет навыками решения практических задач, анализа результатов решения	ПК-6.1: Уметь осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач механики жидкости, а также выбора корректного метода исследования научной проблемы. ПК-6.2: Владеть навыками решения практических задач в области механики жидкости, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой, а также анализом результатов решения.	Расчетно-графическая работа	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-9: Умение использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование	ПК-9.1: Знает теоретические основы физического и компьютерного моделирования, основы эксперимента в механике ПК-9.2: Умеет использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование для решения задач механики на основе полученных теоретических	ПК-9.1: Знать классические модели механики жидкостей и газов, методы решения задач, современные программные комплексы для проведения расчётных исследований, методы проведения, обработки и анализа результатов экспериментальных исследований. ПК-9.2: Уметь проводить расчётные исследования, выбирать и	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

	<p>знаний</p> <p>ПК-9.3: Имеет практический опыт использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач механики</p>	<p>применять современные программные комплексы, получать, обрабатывать и анализировать результаты исследований, а также современное экспериментальное оборудование для решения задач механики жидкостей и газов.</p> <p>ПК-9.3: Владеть опытом использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач механики жидкостей и газов.</p>		
--	---	--	--	--

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	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	74
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			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные	Всего	

			работы), часы		
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение	3	2	0	2	1
Основы теории крыла	3	2	0	2	1
Уравнения движения жидкости	3	2	0	2	1
Схемы численного решения	3	2	0	2	1
Принципы построения сеток	3	2	0	2	1
Критерии подобия	3	2	0	2	1
Турбулентность	3	2	0	2	1
Вихреразрешающие модели	3	2	0	2	1
Расчет аэродинамических характеристик крыльевого профиля	82	0	16	16	66
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	16	16	34	74

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

Практика:

Расчет аэродинамических характеристик крыльевого профиля. 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.

17. (доп. теория)

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

Практика

Знакомство с интерфейсом ПО ЛОГОС

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

Расчеты во всем диапазоне углов атаки

Сравнение с экспериментом, анализ результатов

Визуализация потока, анализ результатов

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 лабораторного типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях лабораторного типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях лабораторного 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-6:

Расчет аэродинамических характеристик крыльевого профиля NASA0012

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

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-9:

1. Какие аспекты важны при работе с ненасыщенными пористыми средами
2. Почему требуется дискретизировать интересующую область
3. Какие типы ошибок могут возникать а расчетах
4. Какие переменные влияют на интенсивность излучения
5. Что происходит, когда гидравлический прыжок происходит в открытом канале

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 (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний	Уровень знаний ниже	Минимально	Уровень знаний в	Уровень знаний в	Уровень знаний в	Уровень знаний в

	теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	минимальных требований. Имели место грубые ошибки	допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	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 ПК-6

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

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-9

1. Теория пограничного слоя
2. RANS модели турбулентности
3. Вихреразрешающие модели турбулентности

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 ошибок
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить

Оценка	Критерии оценивания
	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:

- 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.
- 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.
- Белоцерковский Олег Михайлович. Метод крупных частиц в газовой динамике : вычисл. эксперимент. - М. : Наука, 1982. - 391 с. : ил. - 5.20., 3 экз.
- Численное решение многомерных задач газовой динамики / под ред. С. К. Годунова. - М. : Наука, 1976. - 400 с. : ил. - 1.75., 3 экз.
- 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.
- 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.
- 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.
- Основы механики сплошных сред. Электронный задачник "Основы механики сплошных сред: гидромеханика и акустика" : учебно-методический комплекс / С. Н. Гурбатов, И. Ю. Грязнова, И. Ю. Демин [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 95 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851181&idb=0>.
- Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей : в 2 т. Т. 2. Методы расчета различных течений / пер. В. Ф. Каменецкого ; под ред. Л. И. Турчака. - М. : Мир, 1991. - 552 с. : ил. - 8.50., 4 экз.

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

- Пакет программ ЛОГОС
- <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm>
- Любимов А.К., Шабарова Л.В. Методы построения расчетных сеток в пакете ANSYS ICEM CFD: Электронное методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет,

2011. – 25 с. (<http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/128.pdf>).

4. Шабаров В.В. Применение системы ANSYS к решению гидрогазодинамических задач. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006, 108 с. (<http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2006/3.pdf>).

5. 4. Шабаров В.В. Расчет гидроаэродинамических характеристик крыльев вихревыми методами. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики». Нижний Новгород, 2007, 39 с. (<http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/58.pdf>).

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

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 01.04.03 - Механика и математическое моделирование.

Автор(ы): Жидков Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент
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.