

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

Компьютерная гидродинамика

Уровень высшего образования

Специалитет

Направление подготовки / специальность

01.05.01 - Фундаментальные математика и механика

Направленность образовательной программы

Фундаментальная механика и приложения

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.04 Компьютерная гидродинамика 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 самостоятельно анализировать задачу компьютерной гидродинамики, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его ПК-6.2: Владеть навыками решения практических задач, анализа результатов решения в области компьютерной гидродинамики	Отчет по лабораторным работам	Экзамен: 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	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	22
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
Введение	3	2	0	2	1
Основы теории крыла	3	2	0	2	1
Уравнения движения жидкости	3	2	0	2	1
Схем 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	24	0	12	12	12
Отрывное обтекание цилиндра	4	0	4	4	0
Теплоперенос, конвекция в полости	4	0	4	4	0
Моделирование винта	4	0	4	4	0
Задача с поверхностью раздела сред	4	0	4	4	0
Течение в трубе с поворотом	6	0	4	4	2
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	108	16	32	50	22

Содержание разделов и тем дисциплины

Лекция 1 Введение

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

Лекция 2 Основы теории крыла

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

Лекция 3 Уравнения движения жидкости.

Выводятся уравнения движения жидкости (Навье - Стокса), начальные, граничные условия.

Формулируется математическая постановка задачи об определении аэродинамических характеристик крыльевого профиля

Лекция 4 Численные схемы решения уравнений

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

Лекция 5 Принципы дискретизации

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

Лекция 6 Обработка результатов

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

Лекция 7 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 .

Лекция 8 Турбулентность

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

Лекция 9 Пограничный слой

Сведение из теории пограничного слоя. Компьютерное моделирование течения в пограничном слое.

Принципы дискретизации, призматические пристеночные слои, Y^+ .

Лекция 10 Вихреразрешающие модели

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

Лекция 11 Задача об отрывном обтекании цилиндра на базе RANS подходов к моделированию турбулентности

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

Лекция 12 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)

Лекция 13 Тепломассоперенос, задача о конвекции в полости

Физико-математическая постановка задачи. Решение задачи (совместно с обучающимися). Анализ результатов и сравнение с экспериментом

Лекция 14 Проектные задачи. Моделирование характеристик гребного винта

Физико-математическая постановка задачи. Решение задачи (совместно с обучающимися). Анализ результатов и сравнение с экспериментом

Лекция 15 Проектные задачи. Моделирование обтекания кузова автомобиля

Физико-математическая постановка задачи. Решение задачи (совместно с обучающимися). Анализ результатов.

Лекция 16 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 1

Знакомство с интерфейсом ПО

Практика 2

Построение геометрии и расчетной области

Практика 3

Инструменты построения сеточных моделей

Практика 4
Пространственная дискретизация, построение сеточной модели
Практика 5
Пространственная дискретизация, построение сеточной модели
Практика 6
Задание параметров модели (ламинарная постановка)
Практика 7
Расчеты, обработка результатов
Практика 8
Исследования влияния размеров расчетной области
Практика 9
Турбулентная постановка, корректировка сетки по y^+
Практика 10
Отладочные расчеты. Обеспечение $y^+=1$
Практика 11
Исследования сеточной сходимости
Практика 12
Исследования сеточной сходимости
Практика 13
Выбор постановки. Расчеты во всем диапазоне углов атаки
Практика 14
Расчеты во всем диапазоне углов атаки
Практика 15
Сравнение с экспериментом, анализ результатов
Практика 16
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.

1. Кальясов П.С., Шабарова Л.В., Петров А.Н. Место вычислительной гидродинамики в решении проектных задач. - Н.Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского - 2024. - 77с.
2. Кальясов П.С., Шабарова Л.В., Белов А.А. Моделирование обтекания профиля крыла в модуле ЛОГОС Аэро-Гидро пакета программ Логос. - Н.Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского - 2024. - 43с.

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 - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

1. Расчет аэродинамических характеристик крыльевого профиля NASA-0012

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

Количественные данные в файле «NASA0012 постановка.xls»

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 - Отчет по лабораторным работам)

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 компет	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
---------------------------------	-------	---------------------	-------------------	--------	--------------	---------	-------------

енций (индик атора достиж ения компет енций)	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 отдельным 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. Модели жидкости
2. Уравнения движения жидкости
3. Численные схемы решения уравнений движения жидкости

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 полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа

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

Основная литература:

1. Аверина Татьяна Александровна. Численные методы. Алгоритмы моделирования систем со случайной структурой : учебное пособие для вузов / Т. А. Аверина. - Москва : Юрайт, 2024. - 156 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/540955> (дата обращения: 15.08.2024). - ISBN 978-5-534-07204-4 : 619.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=903931&idb=0>.
2. Зализняк Виктор Евгеньевич. Численные методы. Основы научных вычислений : учебник и практикум для вузов / В. Е. Зализняк. - 2-е изд. - Москва : Юрайт, 2024. - 356 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/535676> (дата обращения: 15.08.2024). - ISBN 978-5-534-02714-3 : 1219.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=910814&idb=0>.
3. Емельянов Владислав Николаевич. Численные методы: введение в теорию разностных схем : учебное пособие для вузов / В. Н. Емельянов. - 2-е изд. - Москва : Юрайт, 2024. - 188 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/538894> (дата обращения: 15.08.2024). - ISBN 978-5-534-06617-3 : 719.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=904879&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Гладков С. О. Теоретическая и математическая физика. Сборник задач в 2 ч. Часть 1 : учебное пособие / С. О. Гладков. - 3-е изд. ; пер. и доп. - Москва : Юрайт, 2022. - 241 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/492205> (дата обращения: 14.08.2022). - ISBN 978-5-534-00000-9 : 799.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=820437&idb=0>.

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

Пакет программ Логос

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: 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 01.05.01 - Фундаментальные математика и механика.

Автор(ы): Кальясов Павел Сергеевич, кандидат технических наук

Шабарова Любовь Васильевна, кандидат технических наук.

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

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