

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

Численные схемы гидроаэромеханики

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

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.09 Численные схемы гидроаэромеханики 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
УК-3: Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1: Знать основные принципы управления командой проекта. УК-3.2: Уметь вырабатывать командную стратегию при выполнении проекта. УК-3.3: Владеть методами мотивации команды на достижение поставленной цели.	УК-3.1: Уметь редуцировать сложные комплексные задачи аэрогидродинамики к совокупности более простых задач. УК-3.2: Знать способы построения и реализации комплексных математических и численных моделей для решения сложных задач аэрогидродинамики. УК-3.3: Владеть методами расщепления численных алгоритмов по физическим процессам и координатном направлении.	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы
ОПК-2: Способен разрабатывать и применять новые методы математического моделирования в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности	ОПК-2.1: Знает основные положения, терминологию и методологию в области математического и алгоритмического моделирования. ОПК-2.2: Умеет осуществлять анализ и выбор методов решения задач профессиональной и научной деятельности на основе теоретических знаний в области математических и	ОПК-2.1: Знать специализированные разделы теории разностных схем, необходимые при решении задач теории аэрогидродинамических систем. ОПК-2.2: Уметь формулировать и решать прикладные задачи аэрогидродинамики. ОПК-2.3:	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

	компьютерных наук. ОПК-2.3: Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач профессиональной и научной деятельности.	Владеет положениями механики сплошных сред, методами исследования разностных схем.		
ОПК-4: Способен использовать и создавать эффективные программные средства для решения задач механики	ОПК-4.1: Знает базовые понятия информатики, информации, ее измерения, кодирования и представления в вычислительных системах, принципы сбора, хранения и обработки информации, а также современные алгоритмы, средства разработки и программные средства. ОПК-4.2: Умеет использовать знания, полученные в области компьютерных наук. ОПК-4.3: Имеет практический опыт использования информационных технологий, а также создания программных средств для решения задач профессиональной деятельности.	ОПК-4.1: Знать основные тенденции развития современных численных методов и программного обеспечения для решения задач аэрогидродинамики. ОПК-4.2: Уметь разрабатывать новое и модифицировать существующее программное обеспечение. ОПК-4.3: Владеет навыками разработки и адаптации математически сложных алгоритмов при решении задач аэрогидродинамики.	Собеседование	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	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	78
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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Введение в теорию разностных схем для одномерного уравнения переноса и уравнений акустики. Метод характеристик.	29	8	8	16	13
Явные схемы для уравнений газовой динамики. Адаптирующиеся эйлерово-лагранжевые алгоритмы с использованием подвижных разностных сеток.	39	10	10	20	19
Неявные разностные схемы типа «предиктор-корректор»	22	4	4	8	14
Гибридные схемы переменной точности. Метод коррекции потоков, TVD-схемы.	23	4	4	8	15
Современные тенденции в численном моделировании задач аэрогидродинамики и механики сплошной среды.	29	6	6	12	17
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	180	32	32	66	78

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение в теорию разностных схем для одномерного уравнения переноса и уравнений акустики. Метод характеристик.
2. Явные схемы для уравнений газовой динамики. Адаптирующиеся эйлерово-лагранжевые алгоритмы с использованием подвижных разностных сеток.
3. Неявные разностные схемы типа «предиктор-корректор».
4. Гибридные схемы переменной точности. Метод коррекции потоков, TVD-схемы.
5. Современные тенденции в численном моделировании задач аэрогидродинамики и механики сплошной среды.

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.

Подготовка по контрольным вопросам и заданиям для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции УК-3:

Получить численное решение задачи переноса заданного импульса по одной из разностных схем для различных чисел Куранта.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

Определить конфигурацию и параметры распада разрыва для заданных начальных условий.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-4:

Определить зависимости численной ошибки для различных схем при описании непрерывных и разрывных решений от числа Куранта.

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 (индикатор 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 УК-3

1. Метод характеристик для уравнений акустики.
2. Неявная схема предиктор-корректор для уравнения переноса.
3. Схема Лакса-Вендроффа для двумерных уравнений газовой динамики.
4. Схема "крест" для двумерных уравнений газовой динамики.
5. Схема Годунова повышенной точности.
6. Схема коррекции потоков.
7. Схема Мак-Кормака.
8. Гибридная схема Залезака.
9. Полностью консервативная схема Головизнина-Самарского.
10. TVD-схемы.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Простейшие схемы для линейного уравнения переноса (вверх и вниз по потоку, центральная).
2. Схема Лакса для линейного уравнения переноса.
3. Схема Лакса-Вендроффа для линейного уравнения переноса.
4. Схема прямоугольник для линейного уравнения переноса.
5. Схема "кабаре" для линейного уравнения переноса.
6. Схема "крест" для уравнений акустики.
7. Схема Лакса для уравнений акустики.
8. Схема Лакса-Вендроффа для уравнений акустики.
9. Неявная схема с весами для уравнений акустики.
10. Схема распада разрывов для уравнений акустики.
11. Неявная схема предиктор-корректор для уравнения переноса.
12. Схема распада разрывов для уравнений газовой динамики.
13. Схема распада разрывов для двумерных уравнений акустики.
14. Схема распада разрывов для двумерных уравнений газовой динамики.
15. Схема Годунова повышенной точности.
16. Схема коррекции потоков.
17. Гибридная схема Залезака.
18. Полностью консервативная схема Головизнина-Самарского.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-4

1. Схема Лакса-Вендроффа для двумерных уравнений газовой динамики.
2. Гибридная схема Залезака.

3. Полностью консервативная схема Головизнина-Самарского.

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. Самарский Александр Андреевич. Разностные схемы газовой динамики : учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по специальности "Приклад. математика". - М. : Наука, 1975. - 351 с. : ил. - 0.79., 6 экз.
2. Рождественский Борис Леонидович. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. - 688 с. : ил. - 60.00., 4 экз.
3. Годунов Сергей Константинович. Разностные схемы : введ. в теорию : [учеб. пособие для ун-тов и вузов по специальности "Приклад. математика"]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1977. - 439 с. : ил. - 1.14., 3 экз.
4. Рихтмайер Р. Д. Разностные методы решения краевых задач / пер. со 2-го англ. изд. Б. М. Будака [и др.] ; под ред. Б. М. Будака и А. Д. Горбунова. - М. : Мир, 1972. - 418 с. : ил. - 1.93., 3 экз.

Дополнительная литература:

1. Флетчер Клайв. Вычислительные методы в динамике жидкостей : в 2 т. Т. 1. Основные положения и общие методы / пер. А. И. Державиной ; под ред. В. П. Шидловского. - М. : Мир, 1991. - 502 с. : ил. - 7.00., 3 экз.

2. 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):

При проведении практических занятий используются методические программные разработки НИИ механики ННГУ.

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 01.04.03 - Механика и математическое моделирование.

Автор(ы): Кочетков Анатолий Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор.

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

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