

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол от
31.05.2023 г. №6

**Рабочая программа дисциплины
Моделирование течений жидкости и газа методами вычислительной
гидроаэродинамики**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

09.03.03 Прикладная информатика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Суперкомпьютерное моделирование и инженерный анализ

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород
2022 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина <i>Б1.В.ДВ.02.01 Моделирование течений жидкости и газа методами вычислительной гидроаэродинамики</i> относится к части ООП направления подготовки 09.03.03 Прикладная информатика, формируемой участниками образовательных отношений.

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**	
ПК-15. Способен самостоятельно анализировать поставленную задачу, выбирать корректные методы её решения, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах суперкомпьютерного моделирования инженерного назначения, реализовывать в них новые алгоритмы	ПК-15.1. Демонстрирует знание теоретических основ и методологию построения решений фундаментальных задач механики, основы информационных технологий, в том числе суперкомпьютерных технологий. ПК-15.2. Демонстрирует умение самостоятельно осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач профессиональной деятельности. ПК-15.3. Имеет опыт решения задач механики в соответствии с выбранным методом и построенным алгоритмом с использованием современных программных комплексов суперкомпьютерного моделирования инженерного назначения.	Знать: теоретические основы и методы построения решений основных задач механики и основ информационных технологий, включая суперкомпьютерные технологии. Уметь самостоятельно анализировать и выбирать методы и алгоритмы решения профессиональных задач. Владеть методами решения задач механики для инженерных целей с использованием современных программ суперкомпьютерного моделирования в соответствии с выбранными методами и построенными алгоритмами.	Контрольные вопросы Задания Собеседование

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**	
<p>ПК-16.</p> <p><i>Имеет опыт самостоятельного проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов суперкомпьютерного моделирования инженерных задач</i></p>	<p>ПК-16.1. Демонстрирует знание особенностей поиска научно-технической информации в различных источниках, методов и технологий её обработки и анализа, а также способов представления.</p> <p>ПК-16.2. Демонстрирует умение самостоятельно организовать целенаправленный поиск информации в различных источниках, выбирать методы и технологии её обработки, анализа и представления, исходя из поставленной задачи на основе программных комплексов суперкомпьютерного моделирования инженерного назначения.</p> <p>ПК-16.3. Имеет опыт поиска и анализа научно-технической информации в различных источниках для решения стандартных профессиональных задач, а также опыт публичного представления научных результатов.</p>	<p>Знать: особенности поиска научно-технической информации из различных источников, методов и приемов ее обработки и анализа, а также методов представления.</p> <p>Уметь самостоятельно организовывать поиск информации из различных источников, обрабатывать, анализировать и выбирать методы и приемы представления, исходя из поставленных задач, на базе программ суперкомпьютерного моделирования для технических целей.</p> <p>Иметь практический опыт поиска, подбора и анализа научно-технической информации из различных источников для решения поставленных задач и представления полученных результатов.</p>	<p><i>Контрольные вопросы</i> <i>Задания</i> <i>Собеседование</i></p>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 з.е.
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	14
- занятия семинарского типа	14
- занятия лабораторного типа	28
- текущий контроль (КСР)	1
самостоятельная работа	51
Промежуточная аттестация – зачет	-

3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них				
			ЗЛеТ ²	ЗСеТ ³	ЗЛаТ ⁴	Всего	
1.	Введение. Математическое моделирование и механика	3	1	0	0	1	2
2.	Сведения о компьютерных системах для гидро-газо-динамических расчетов	8	0	2	4	6	2
3.	Математические модели механики жидкостей и газов	8	2	2	0	4	4
4.	Геометрическое моделирование и дискретизация пространственных областей	13	0	1	4	5	8
5.	Обзор численных методов решения задач гидро-газо-динамики	5	2	1	0	3	2
6.	ЛОГОС: методы решения задач гидро-газо-динамики	8	0	0	4	4	4
7.	Методы численного решения задач механики жидкостей	18	8	2	0	10	8
8.	ЛОГОС: решение задач гидро-газо-динамики	41	0	6	16	22	19
9.	Обзор курса	3	1	0	0	1	2
	Текущий контроль (КСР)	1				1	
	Промежуточная аттестация – зачет	-					
	ИТОГО	108	14	14	28	57	51

¹ Самостоятельная работа обучающегося.

² Занятия лекционного типа.

³ Занятия семинарского типа.

⁴ Занятия лабораторного типа.

Практические занятия (лабораторные занятия) 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 занятий) в форме практической подготовки отводится 28 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: теоретических, численных и экспериментальных исследований явлений и процессов различной природы методами

математического, компьютерного и экспериментального моделирования при решении стандартных задач механики жидкостей и газов.

- компетенций - ПК-15, ПК-16.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лабораторного типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *собеседований* и контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к *зачёту*.

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
плохо	не зачтено	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
неудовлетворительно		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
удовлетворительно	зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.

Шкала оценивания сформированности компетенций	Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
	Знания	Умения	Навыки
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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»
незачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы

№	Вопрос	Код формируемой компетенции
1.	Уравнения движения вязкой жидкости.	ПК-15

№	Вопрос	Код формируемой компетенции
2.	Турбулентность. Основные характеристики турбулентных потоков.	ПК-15
3.	Гипотеза вихревой вязкости. Модели турбулентности, основанные на гипотезе вихревой вязкости.	ПК-15
4.	Сходимость, согласованность, устойчивость, точность решения. Искусственные вязкость и дисперсия.	ПК-15
5.	Схемы «против потока» и устойчивость этих схем.	ПК-15
6.	Псевдонестационарный подход. Аналогия между итерационными процедурами и решением систем эволюционных уравнений.	ПК-15
7.	Основные принципы построения сеток.	ПК-16
8.	Методы альтернативных неявных направлений.	ПК-16
9.	Алгоритмы семейства SIMPLE.	ПК-16
10.	Метод конечных объемов.	ПК-16
11.	Основные виды граничных условий и их реализация в сеточных методах.	ПК-16

5.2.2. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-15

1. Симметричное обтекание уступа потоком вязкой несжимаемой жидкости.
2. Течение в нише и его взаимодействие с внешним потоком. Исследование влияния «дальних» граничных условий на течение в районе ниши.
3. Обтекание цилиндра потоком вязкой несжимаемой жидкости. Исследование влияния чисел Рейнольдса на структуру обтекания и распределенные нагрузки, действующие на цилиндр.
4. Сверхзвуковое обтекание цилиндра.
5. Неньютоновские течения сред в каналах.
6. Обтекание тела с теплообменом.

5.2.3. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-16

1. Гидродинамика течений со свободными границами: формирование и распространение волн конечной амплитуды.
2. Исследование задачи относительного равновесия жидкости со свободными границами.
3. Симметричное погружение клиновидного профиля в несжимаемую жидкость.
4. Обтекание профиля потоком вязкого газа на дозвуковом и сверхзвуковом режимах.

5.2.4. Вопросы для собеседования для оценки сформированности компетенции ПК-15

1. Математическая модель объекта в механике
2. Подходы к построению математических моделей
3. Фундаментальные законы механики
4. Идеальная жидкость
5. Модель идеальной несжимаемой жидкости
6. Классическая (ньютоновская) вязкая жидкость
7. Модель вязкой несжимаемой жидкости
8. Неньютоновские жидкости
9. Полная система уравнений сплошной среды

5.2.5. Вопросы для собеседования для оценки сформированности компетенции ПК-16

6. Модель баротропной жидкости
7. Модель совершенного газа
8. Модель вязкой баротропной жидкости
9. Модель вязкой теплопроводной жидкости
10. Турбулентность. Основные характеристики турбулентных потоков

11. Численные методы в гидродинамике
12. Возможности ЛОГОС по решению задач гидроаэромеханики

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. 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>).
2. Моделирование движительно-рулевого комплекса судна на воздушной подушке // Шабаров В.В., Кальясов П.С., Игумнов Л.А., Шапошников В.А. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 50 с. (<http://www.unn.ru/books/metfiles/shabarov.doc>).
3. 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>).
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>).

б) дополнительная литература:

1. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. М: Мир, 1990. – 384 с. – 1экз
2. Белоцерковский, О.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М.: Наука, 1982. (3 экз.) <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=74304&idb=0>
3. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Крайко А.Н., Прокопов Г.П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976 (3 экз.) (<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/GodunovZabrodinIvanovKrajko1976ru.djvu>).
4. Коннор Дж., Бреббиа К. Метод конечных элементов в механике жидкости. Л.: Судостроение, 1979 (<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/KonnorBrebbsia1979ru.djvu>).
5. Пейре Р., Тейлор Т.Д. Вычислительные методы в задачах механики жидкости Л.: Гидрометеиздат, 1986. - 351, [1] с. - 1экз.
6. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980. - 616 с. - 2экз.
7. УМК "Основы механики сплошных сред" Электронный задачник «Основы механики сплошных сред: гидромеханика и акустика» // Гурбатов С.Н., Грязнова И.Ю., Демин И.Ю., Клемина А.В., Курин В.В., Прончатов-Рубцов Н.В. (Электронное методическое пособие). Нижний Новгород, 2010. (<http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/46.pdf>).
8. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. т. 1, 2. М.: Мир, 1991. - 552 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

(в соответствии с содержанием дисциплины)

ANSYS FLUENT, ANSYS CFX, ANSYS ICEM

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных

занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: 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.

Специальное образовательное пространство «Учебно-лабораторный интерактивный комплекс "Суперкомпьютерное моделирование, проектирование и автоматизация производства изделий микроэлектроники", для проведения лабораторных и практических занятий, предусмотренных программой, оснащенное

- высокопроизводительной вычислительной системой: программно-аппаратным комплексом «Логос» (коммерческая лицензия);
- учебный класс с 15 персональными компьютерами с установленным специализированным прикладным программным обеспечением: программный комплекс инженерного назначения Логос (академическая лицензия);
- сетевым оборудованием для доступа к высокопроизводительному ПАК «Логос»;
- офисное и мультимедийное оборудование, включая оборудование для представления презентаций и организации видеоконференцсвязи, специализированная мебель.

Специальное образовательное пространство «Инженерный анализ, моделирование и проектирование электронных устройств и двух учебных классов, для проведения лабораторных, практических занятий и самостоятельной работы, предусмотренных программой, оснащенное

- 2 учебных класса по 9 персональных компьютеров с установленным специализированным прикладным программным обеспечением (академические лицензии): ПО Логос Аэро-Гидро, ПО Логос-Прочность, ПО Логос-Препост, ПО Логос-Платформа;
- сетевым оборудованием для обеспечения инженерных расчетов с рабочих мест на удаленных высокопроизводительных ресурсах, каналом доступа к высокопроизводительным вычислительным системам: вычислительный центр РФЯЦ-ВНИИЭФ, суперкомпьютер «Лобачевский»;
- офисное и мультимедийное оборудование, включая оборудование для представления презентаций и организации видеоконференцсвязи, специализированная мебель.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 09.03.03 Прикладная информатика.

Автор заведующий кафедрой ИАНИ, профессор,
д.т.н М.Х. Прилуцкий

Заведующий кафедрой
теоретической, компьютерной и
экспериментальной механики д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 30.11.2022 года, протокол № 3.