

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 № 12 от 26.12.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Моделирование течений жидкости и газа методами вычислительной  
гидроаэродинамики

---

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

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.01 Моделирование течений жидкости и газа методами вычислительной гидроаэродинамики 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-2: Умеет извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, научных сайтов и т.д., анализировать полученную информацию для применения в научной работе, а также публично представлять полученные результаты с учетом уровня аудитории	ПК-2.1: Умеет извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, научных сайтов и т.д. ПК-2.2: Знает методы анализа полученной информации, умеет применять ее в научной работе ПК-2.3: Имеет практический опыт публичного представления полученных результатов в соответствии с уровнем аудитории	ПК-2.1: Умеет извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, научных сайтов и т.д.  ПК-2.2: Знает методы анализа полученной информации, умеет применять ее в научной работе  ПК-2.3: Владеет навыками публичного представления полученных результатов в соответствии с уровнем аудитории	Задания Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы Задания

## 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)	40

<b>- КСР</b>	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>51</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>зачёт</b>

### 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. Математическое моделирование и механика	6	2	0	2	4
2. Сведения о компьютерных системах для гидро-газо-динамических расчетов	11	0	7	7	4
3. Математические модели механики жидкостей и газов	9	3	2	5	4
4. Геометрическое моделирование и дискретизация пространственных областей	13	0	7	7	6
5. Обзор численных методов решения задач гидро-газо-динамики	8	2	2	4	4
6. ЛОГОС: методы решения задач гидро-газо-динамики	10	0	6	6	4
7. Методы численного решения задач механики жидкостей	16	8	2	10	6
8. ЛОГОС: решение задач гидро-газо-динамики	29	0	14	14	15
9. Обзор курса	5	1	0	1	4
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	40	57	51

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Математическое моделирование и механика
2. Сведения о компьютерных системах для гидро-газо-динамических расчетов
3. Математические модели механики жидкостей и газов
4. Геометрическое моделирование и дискретизация пространственных областей
5. Обзор численных методов решения задач гидро-газо-динамики
6. ЛОГОС: методы решения задач гидро-газо-динамики
7. Методы численного решения задач механики жидкостей
8. ЛОГОС: решение задач гидро-газо-динамики
9. Обзор курса

#### **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 лабораторного типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях лабораторного типа),
- подготовка к промежуточной аттестации.

#### **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 - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

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

##### **Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

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
10. Модель баротропной жидкости
11. Модель совершенного газа
12. Модель вязкой баротропной жидкости
13. Модель вязкой теплопроводной жидкости
14. Турбулентность. Основные характеристики турбулентных потоков
15. Численные методы в гидродинамике
16. Возможности ЛОГОС по решению задач гидроаэромеханики

### **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 несущественные 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 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 отдельными 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	При решении стандартных	Имеется минимальн	Продemonстрированы	Продemonстрированы	Продemonстрированы	Продemonстрированы

	навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	задач не продемонстриро ваны базовые навыки. Имели место грубые ошибки	ый набор навыков для решения стандартны х задач с некоторым и недочетами	базовые навыки при решении стандартны х задач с некоторым и недочетами	базовые навыки при решении стандартны х задач без ошибок и недочетов	навыки при решении нестандарт ных задач без ошибок и недочетов	творческий подход к решению нестандартны х 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».
	удовлетворитель но	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	неудовлетворите льно	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-2**

1. Математическое моделирование
2. Фундаментальные законы механики
3. Полная система уравнений сплошной среды
4. Идеальная жидкость
5. Модель идеальной несжимаемой жидкости
6. Модель баротропной жидкости
7. Модель совершенного газа
8. Классическая (ньютоновская) вязкая жидкость
9. Модель вязкой несжимаемой жидкости
10. Модель вязкой баротропной жидкости

11. Модель вязкой теплопроводной жидкости
12. Неньютоновские жидкости
13. Численные методы в гидродинамике
14. Возможности ЛОГОС по решению задач гидроаэромеханики
15. Уравнения движения вязкой жидкости.
16. Турбулентность. Основные характеристики турбулентных потоков.
17. Гипотеза вихревой вязкости. Модели турбулентности, основанные на гипотезе вихревой вязкости.
18. Сходимость, согласованность, устойчивость, точность решения. Искусственные вязкость и дисперсия.
19. Схемы «против потока» и устойчивость этих схем.
20. Псевдонестационарный подход. Аналогия между итерационными процедурами и решением систем эволюционных уравнений.
21. Основные принципы построения сеток.
22. Методы альтернативных неявных направлений.
23. Алгоритмы семейства SIMPLE.
24. Метод конечных объемов.
25. Основные виды граничных условий и их реализация в сеточных методах.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

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.

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Течение в нише и его взаимодействие с внешним потоком. Исследование влияния «дальних» граничных условий на течение в районе ниши.
2. Обтекание цилиндра потоком вязкой несжимаемой жидкости. Исследование влияния чисел Рейнольдса на структуру обтекания и распределенные нагрузки, действующие на цилиндр.
3. Сверхзвуковое обтекание цилиндра.
4. Неньютоновские течения сред в каналах.
5. Обтекание тела с теплообменом.
6. Гидродинамика течений со свободными границами: формирование и распространение волн конечной амплитуды.



7. Исследование задачи относительного равновесия жидкости со свободными границами.
8. Симметричное погружение клиновидного профиля в несжимаемую жидкость.
9. Обтекание профиля потоком вязкого газа на дозвуковом и сверхзвуковом режимах.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

#### 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. Белоцерковский Олег Михайлович. Метод крупных частиц в газовой динамике : вычисл. эксперимент. - М. : Наука, 1982. - 391 с. : ил. - 5.20., 3 экз.
4. Численное решение многомерных задач газовой динамики / под ред. С. К. Годунова. - М. : Наука, 1976. - 400 с. : ил. - 1.75., 3 экз.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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>.
9. 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.

10. 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):

ANSYS FLUENT, ANSYS CFX, ANSYS ICEM

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

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.

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 15.03.03 - Прикладная механика.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 10.10.2023 г., протокол № 2.