

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**

Численные методы в механике жидкости

---

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.О.31 Численные методы в механике жидкости 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
ПК-1: Способен анализировать поставленную задачу, используя знания фундаментальных физико-математических и компьютерных наук, проводить расчетно-экспериментальные работы и исследования, обрабатывать и анализировать результаты, оформлять отчетную документацию	ПК-1.1: Имеет необходимые для анализа поставленной задачи знания в области фундаментальных физико-математических и компьютерных наук ПК-1.2: Умеет проводить экспериментальные работы и исследования, обрабатывать и анализировать результаты ПК-1.3: Имеет практический опыт в оформлении отчетной документации.	ПК-1.1: Имеет необходимые для анализа поставленной задачи знания в области фундаментальных физико-математических и компьютерных наук  ПК-1.2: Умеет проводить экспериментальные работы и исследования, обрабатывать и анализировать результаты  ПК-1.3: Владеет навыками оформления отчетной документации.	Собеседование Сообщение	Экзамен: Контрольные вопросы Задания

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	26
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	52
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>64</b>

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/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1. Введение. Математическое моделирование и механика	3	2	0	2	1
2. Сведения о компьютерных системах для гидро-газо-динамических расчетов	7	0	4	4	3
3. Математические модели механики жидкостей и газов	11	6	0	6	5
4. Геометрическое моделирование и дискретизация пространственных областей	23	0	12	12	11
5. Обзор численных методов решения задач гидро-газодинамики	6	4	0	4	2
6. ANSYS: методы решения задач гидро-газо-динамики	11	0	8	8	3
7. Методы численного решения задач механики жидкостей	23	12	0	12	11
8. ANSYS: решение задач гидро-газодинамики	53	0	28	28	25
9. Обзор курса	5	2	0	2	3
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	180	26	52	80	64

#### 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-газодинамики
6. ANSYS: методы решения задач гидро-газо-динамики
7. Методы численного решения задач механики жидкостей
8. ANSYS: решение задач гидро-газодинамики
9. Обзор курса

Практические занятия /лабораторные работы 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 работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 2 ч.

#### **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 семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского 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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

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 ANSYS 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.

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Сообщение) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

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 - Сообщение)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выставляется при раскрытии темы сообщения полностью, при глубокой проработке всех его разделов. Материал изложен логически связно, последовательно, аргументировано. При изложении темы присутствует авторское мнение, а также использован широкий список литературы.
не зачтено	Выставляется, если тема сообщения в основном раскрыта, однако существуют небольшие нарушения в логике и последовательности изложения материала. Использован достаточный список литературы. Малая степень самостоятельности.

### 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 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

	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	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-1

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 ANSYS 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
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 ошибки.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1

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
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки

Оценка	Критерии оценивания
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 ошибки.
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. 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.
- 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.

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

1. ANSYS FLUENT, ANSYS CFX, ANSYS ICEM
2. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm>  
<http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/128.pdf>  
<http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/58.pdf>  
<http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2006/3.pdf>  
[http://www.unn.ru/books/met\\_files/shabarov.doc](http://www.unn.ru/books/met_files/shabarov.doc)

## **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.