

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Механика вязкой жидкости
<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительной физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: С.В. Фортова, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры вычислительной физики 26.04.2024

## Аннотация

Целью курса является формирование у студентов знаний и навыков работы с понятиями гидродинамики вязкой жидкости. Рассматриваются постановки наиболее распространенных краевых и начально-краевых задач.

Задачи дисциплины включают освоение фундаментальных понятий, математических моделей, их свойств, современных численных методов их решений.

Слушатель, освоивший курс, будет знать законы теоретической гидродинамики, современные проблемы теоретической гидродинамики, понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем.

Он будет способен понимать поставленную задачу, использовать свои знания для самостоятельного решения фундаментальных и прикладных задач гидродинамики, будет способен оценивать корректность постановок задач, строго доказывать или опровергать утверждение, самостоятельно находить алгоритмы решения задач гидродинамики, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ, самостоятельно находить следствия полученных результатов, точно представить математические знания в области гидродинамики в устной и письменной форме. В рамках курса будет рассматриваться асимптотическая устойчивость аналитических решений уравнений Навье-Стокса, модель идеальной несжимаемой жидкост, законы сохранения массы, импульса, полной энергии.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- формирование у студентов знаний и навыков работы с понятиями гидродинамики вязкой жидкости, краевых и начально-краевых задач в приложении их к проблемам и задачам народного хозяйства.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей) динамики вязкой жидкости;
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков в области динамики вязкой жидкости;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических исследований в области динамики вязкой жидкости.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке

проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы теоретической гидродинамики;
- современные проблемы теоретической гидродинамики;
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть цикла "Механика вязкой несжимаемой жидкости";
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач гидродинамики.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач гидродинамики;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач гидродинамики, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно находить следствия полученных результатов;
- точно представить математические знания в области гидродинамики в устной и письменной форме.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач гидродинамики (в том числе, сложных);
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов теоретической гидродинамики;
- предметным языком дискретной математики и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Асимптотическая устойчивость классических решений уравнений Навье-Стокса.	4			
2	Идеальная несжимаемая жидкость.	4			
3	Интеграл Коши-Лагранжа.	4			
4	Интегральный закон сохранения импульса.	4			
5	Интегральный закон сохранения массы.	2			28

6	Интегральный закон сохранения полной энергии.	2			
7	Обобщенное («слабое») решение Э. Хопфа.	4			2
8	Теорема Эйлера.	2			
9	Термодинамика слабо сжимаемых жидкостей.	2			
10	Течение жидкости как диффеоморфизм евклидова пространства в себя.	2			
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Асимптотическая устойчивость классических решений уравнений Навье-Стокса.

Асимптотическая устойчивость классических решений уравнений Навье-Стокса при малых числах Рейнольдса.

Фильтрация несжимаемой вязкой жидкости. Уравнение импульса и закон Дарси.

##### 2. Идеальная несжимаемая жидкость.

Идеальная несжимаемая жидкость. Потенциальные и вихревые течения. Прямая задача обтекания крыла самолета. Профилирование несущего крыла самолета. Теория пограничного слоя.

##### 3. Интеграл Коши-Лагранжа.

Интеграл Коши-Лагранжа и его использование в нестационарных задачах со свободными поверхностями.

Теоремы существования и единственности классических решений уравнений Навье-Стокса. Течение Стокса как предел при числе  $Re$ , стремящемся к нулю.

##### 4. Интегральный закон сохранения импульса.

Интегральный закон сохранения импульса как обобщение второго закона Ньютона. Дифференциальное уравнение. Дифференциальное уравнение момента импульса.

Постулат о локальном термодинамическом равновесии в жидкости. Жидкость как двухпараметрическая термодинамическая система. Баротропные жидкости.

##### 5. Интегральный закон сохранения массы.

Интегральный закон сохранения массы. Поток массы, импульса, энергии. Уравнение неразрывности в дифференциальной форме.

Постулат Коши-Стокса. Постулат отвердевания. Л.В. Овсянникова. Тензор напряжений. Постулат Больцмана о симметрии тензора напряжений.

##### 6. Интегральный закон сохранения полной энергии.

Интегральный закон сохранения полной энергии как следствие первого начала термодинамики. Энтропия. Диссипация энергии.

Уравнения Навье-Стокса. Расщепление полной системы уравнений в несжимаемой жидкости. Число Рейнольдса.

7. Обобщенное («слабое») решение Э. Хопфа.

Обобщенное («слабое») решение Э. Хопфа. Глобальная теорема существования.

8. Теорема Эйлера.

Теорема Эйлера. Теорема переноса. Допустимые поля для описания скорости потока.

9. Термодинамика слабо сжимаемых жидкостей.

Термодинамика слабо сжимаемых жидкостей. Условие непрерывного перехода к несжимаемой жидкости при уменьшении фактора сжимаемости.

10. Течение жидкости как диффеоморфизм евклидова пространства в себя.

Течение жидкости как диффеоморфизм евклидова пространства в себя. Лагранжевы и эйлеровы координаты.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Введение в механику жидкости и газа [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Широков, Э. Н. Вознесенский ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Фед. агентство по образованию, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Изд-во МФТИ, 2007 .— 324 с.

### **Дополнительная литература**

1. Механика жидкости и газа [Текст] : учебник для вузов / Л. Г. Лойцянский ; Рек. М-вом образования РФ .— 7-е изд., испр. — М. : Дрофа, 2003 .— 840 с.  
2. Динамика вязкой несжимаемой жидкости [Текст] : учебник для ун-тов : доп. Глав. управ. ун-тов, экономических и юридических вузов М-ва высш. образов. СССР / Н. А. Слѣзкин .— М. : Гостехиздат, 1955 .— 520 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<http://www.icad.org.ru>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий курс, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы, методы доказательств.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- выполнение заданий по курсу;
- подготовку к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительной физики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	С.В. Фортова, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Механика вязкой жидкости» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия, законы теоретической гидродинамики;
- современные проблемы теоретической гидродинамики;
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть цикла "Механика вязкой несжимаемой жидкости";
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач гидродинамики.

### уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач гидродинамики;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач гидродинамики, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно находить следствия полученных результатов;
- точно представить математические знания в области гидродинамики в устной и письменной форме.

### владеть:



- навыками освоения большого объема информации и решения задач гидродинамики (в том числе, сложных);
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов теоретической гидродинамики;
- предметным языком дискретной математики и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Типовые контрольные задания:

1. Асимптотическая устойчивость классических решений уравнений Навье-Стокса.
2. Идеальная несжимаемая жидкость.
3. Интеграл Коши-Лагранжа.
4. Интегральный закон сохранения импульса.
5. Интегральный закон сохранения массы.
6. Интегральный закон сохранения полной энергии.
7. Обобщенное («слабое») решение Э.Хопфа.
8. Теорема Эйлера.
9. Термодинамика слабо сжимаемых жидкостей.
10. Течение жидкости как диффеоморфизм евклидова пространства в себя.

Критерии оценивания:

10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Примерные вопросы для сдачи экзамена:

1. Определение жидкости. Постулаты и классы функций для полей.
2. Лагранжевы координаты.
3. Эксперимент Рейнольдса. Феномен турбулентности.
4. Слабо сжимаемые жидкости. Непрерывный переход к несжимаемой жидкости.
5. Идеальная несжимаемая жидкость.
6. Прямая задача теории крыла самолета.
7. Профилирование крыла самолета.
8. Течения со свободными поверхностями. Использование интеграла Коши-Лагранжа.
9. Теоремы существования и единственности классических решений уравнений Навье-Стокса.
10. «Слабое» решение Э.Хопфа. Глобальная теорема существования.
11. Устойчивость классических решений при малых числах Рейнольдса.
12. Уравнения теории фильтрации вязкой несжимаемой жидкости.

Билет 1

1. Определение жидкости. Постулаты и классы функций для полей.
2. Слабо сжимаемые жидкости. Непрерывный переход к несжимаемой жидкости.
3. Профилирование крыла самолета.

Билет 2

1. Лагранжевы координаты.
2. Идеальная несжимаемая жидкость.
3. Теоремы существования и единственности классических решений уравнений Навье-Стокса.

Билет 3

1. Эксперимент Рейнольдса. Феномен турбулентности.
2. Прямая задача теории крыла самолета.
3. Устойчивость классических решений при малых числах Рейнольдса.

Билет 4

1. Течения со свободными поверхностями. Использование интеграла Коши-Лагранжа.
2. «Слабое» решение Э.Хопфа. Глобальная теорема существования.
3. Уравнения теории фильтрации вязкой несжимаемой жидкости.

#### **Критерии оценивания**

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Экзамен может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.