

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Саровский физико-технический институт -**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(СарФТИ НИЯУ МИФИ)**

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра «Теоретической и экспериментальной механики»**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан ФТФ, член корр. РАН, д.ф-м.н.**

\_\_\_\_\_ **А.К. Чернышев**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2022 г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Основы механики жидкости и газа**

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	<u>15.03.03 Прикладная механика</u>
Наименование образовательной программы	<u>Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>бакалавр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры

Зав. кафедрой ТиЭМ,

д.т.н., доцент

протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_ **А.Л. Михайлов**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2022 г.**

г. Саров, 2022 г.

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

<b>Семестр</b>	<b>В форме практической подготовки</b>	<b>Трудоемкость, кред.</b>	<b>Общий объем курса, час.</b>	<b>Лекции, час.</b>	<b>Практич. занятия, час.</b>	<b>Лаборат. работы, час.</b>	<b>СРС, час.</b>	<b>КР/КП</b>	<b>Форма(ы) контроля, экс./защ./ЗсО/</b>	<b>Интерактивные часы</b>
<b>5</b>	32	3	108	16	16	16	24	-	Э	4
<b>ИТОГО</b>	<b>32</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>4</b>

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Основы механики жидкости и газа» обеспечивает не только нормативно-методическую базу освоения обучающимися профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика», с квалификацией выпускника бакалавр, но и высокую профессиональную конкурентоспособность выпускников и их востребованность для решения актуальных задач и потребностей регионального и Всероссийского рынка труда, с учетом перспектив его развития.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Механика - наука о механическом движении и механическом взаимодействии материальных тел и сред. Её законы позволяют в большинстве практических случаев выявить причины движения, а применение её методов - рассчитать движение.

Основные разделы механики:

- ✓ теоретическая механика - наука о равновесии и движении материальной точки, системы материальных точек и абсолютно твердого тела;
- ✓ механика сплошных сред - механика жидкости и газа, теория упругости, теория пластичности, теория разрушения.

Задача преподавания дисциплины «Основы механики жидкости и газа» – сформировать у студентов:

- ✓ понимание методов теоретической механики жидкости и газа,
- ✓ навыки и приёмы решения практических задач.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

*Индекс дисциплины: Б1.В.06*

Дисциплина относится к профессиональному циклу основной образовательной программы подготовки бакалавров по профилю «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры» направления 15.03.03 Прикладная механика.

Учебный курс «Основы механики жидкости и газа» логически связан с предшествующими учебными курсами «Высшая математика» (разделы «Линейная алгебра и геометрия», «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики»), «Общая физика», «Теоретическая механика», «Термодинамика и

теплопередача» и с последующими учебными курсами «Физика взрыва и удара», «Экспериментальная механика» и «Вычислительная механика».

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Ожидается, что в результате освоения дисциплины студент приобретет следующие компетенции:

#### Профессиональные компетенции (ПК)

в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
<b>Тип задачи профессиональной деятельности: проектно-конструкторский</b>			
участие в проектировании деталей и узлов с использованием программных систем компьютерного проектирования	Физико-механические процессы и явления, машины, конструкции, приборы и аппаратура и другие объекты современной техники различных подразделений РФЯЦ-ВНИИЭФ, которые для своего изучения и решения требуют разработки и применения экспериментальных методов исследования, математических и компьютерных моделей, основанных на законах механики.	<b>ПК-6</b> Способен к разработке конструкторской документации на агрегаты, узлы, системы, комплексы в составе подсистем изделий, стенды для отработки подсистем изделий  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «32.003. Специалист по проектированию и конструированию механических конструкций, узлов и агрегатов систем летательных аппаратов»	<b>З-ПК-6</b> Знать нормативно-техническая документация: единая система конструкторской документации; руководство для конструкторов по прочности и по ресурсу; нормы прочности; перечни нормализованных элементов узлов и деталей <b>У-ПК-6</b> Уметь применять методический аппарат и технологии конструирования систем и агрегатов изделий; использовать имеющиеся базы данных при конструировании деталей, узлов, агрегатов и систем, кинематических узлов; применять инструментарий: пользоваться стандартным программным обеспечением при оформлении документации; пользоваться стандартными пакетами прикладных программ при проведении расчетных, конструкторских и проектировочных работ,

			графическом оформлении проекта В-ПК-6 Владеть подготовкой и обработка исходных данных для разработки технического задания на агрегаты и системы; конструкторским сопровождением испытаний
--	--	--	--



## **4.1. Содержание разделов дисциплины.**

### **Раздел 1. Введение. Основные уравнения и модели**

#### 1.1. Уравнения газо- и гидродинамики.

Приближение сплошной среды. Интегральные уравнения для Лагранжевого и Эйлера объема. Дифференциальные уравнения в Лагранжевой и Эйлеровой системах координат.

#### 1.2. Модели жидкости и газа.

Модель идеальной несжимаемой жидкости. Модель идеального сжимаемого газа. Двухпараметрическая среда, термодинамические потенциалы. Модель вязкой несжимаемой жидкости. Модель вязкого сжимаемого газа.

#### 1.3. Соотношения на разрывах.

Типы разрывов. Дифференциальные соотношения на разрывах. Нормальный и тангенциальный разрывы.

### **Раздел 2. Теория размерности и подобия**

#### 2.1. Размерные и безразмерные величины.

Основные определения теории размерности: первичные и вторичные единицы измерения, системы основных единиц измерения, формула размерности, размерно зависимые и независимые величины.

#### 2.2. $\pi$ -теорема.

$\pi$ -теорема. Основные следствия из  $\pi$ -теоремы. Алгоритм применения  $\pi$ -теоремы.

#### 2.3. Подобие и моделирование.

Определяющие параметры. Механически подобные явления. Критерии подобия.

### **Раздел 3. Гидростатика**

#### 3.1. Равновесие жидкости и газа в поле сил.

Основные интегральные и дифференциальные уравнения гидростатики. Равновесие в потенциальном поле сил.

#### 3.2. Модели атмосферы. Устойчивость атмосферы.

Равновесие в равномерном поле силы тяжести. Барометрическая формула. Модели атмосферы: изобарическая, изотермическая, с линейным падением температуры с высотой, политропная. Устойчивость несжимаемой жидкости в равномерном поле силы тяжести. Устойчивость сжимаемого газа в равномерном поле силы тяжести. Турбулентность атмосферы.

#### 3.3. Закон Архимеда. Устойчивость плавающих тел.

Обобщенный закон Архимеда. Условия выполнения и нарушения закона Архимеда. Устойчивость тел, плавающих на поверхности жидкости.



## **Раздел 4. Динамика идеальной жидкости**

### 4.1. Основные теоремы.

Теорема Томсона. Теорема Лагранжа. Уравнения в форме Громеки-Лэмба. Уравнение для вихря. Теоремы Гельмгольца о вихрях.

### 4.2. Потенциальные течения.

Определение потенциала скорости. Однозначный и многозначный потенциал. Свойства потенциальных течений.

### 4.3. Идеальная баротропная жидкость в потенциальном поле сил.

Уравнения движения идеальной баротропной жидкости в потенциальном поле сил. Интеграл Коши-Лагранжа. Интеграл Бернулли.

## **Раздел 5. Потенциальные течения идеальной несжимаемой жидкости**

### 5.1. Уравнения потенциального течения идеальной несжимаемой жидкости.

Свойства решений уравнения Лапласа. Внутренняя и внешняя задачи. Задачи Дирихле и Неймана. Теорема о поведении решения внешней задачи на бесконечности. Теорема единственности решения.

### 5.2. Частные решения.

Источник-сток, диполь, мультиполь, простой слой, двойной слой.

### 5.3. Движение твердых тел.

Движение сферы. Парадокс Делаμβера. Коэффициенты присоединенных масс.

### 5.4. Плоско-параллельное установившееся течение.

Метод конформных отображений. Частные решения: источник-сток, диполь, течение в угле. Поперечное обтекание цилиндра. Гипотеза Жуковского-Чаплыгина, безотрывное поперечное обтекание профиля. Обтекание со срывом струй, метод Кирхгофа.

## **Раздел 6. Вихревые течения идеальной несжимаемой жидкости**

### 6.1. Поле скоростей и поле вихрей.

Формула Био-Савара. Вихревые нити и поверхности.

### 6.2. Теория Чаплыгина-Прандтля для крыла конечного размаха.

Вихревая пелена. Индуктивная скорость. Индуктивные подъемная сила и сила сопротивления. Крыло минимального индуктивного сопротивления.

## **Раздел 7. Установившиеся течения идеального газа в трубах**

### 7.1. Непрерывные течения.

Уравнения для непрерывных течений. Скорость звука и число Маха. Параметры торможения. Критические параметры. Сопло Лаваля.

### 7.2. Разрывные течения.

Уравнения Рэнкина-Гюгонио. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемпелена.

### 7.3. Течения с теплоподводом.

Уравнения для течений с теплоподводом. Детонация и дефлаграция. Горение. Теорема Чепмена-Жуге.

## **Раздел 8. Одномерные нестационарные течения идеального газа**

### 8.1. Основные уравнения.

Основные дифференциальные уравнения в Эйлеровой и Лагранжевой системах координат. Уравнения в характеристической форме.

### 8.2. Волны Римана.

Инварианты Римана. Волны Римана. Автомодельность.

### 8.3. Метод характеристик.

Задача Коши. Граничные условия на пространственно-подобных и времени-подобных кривых. Задача Гурса. Задача с условием на траектории.

### 8.4. Разрывные решения.

Соотношения на разрывах в одномерных течениях. Распад произвольного разрыва.

## **Раздел 9. Двумерные стационарные течения идеального газа**

### 9.1. Метод годографа.

Метод годографа. Частный случай: дозвуковой и сверхзвуковой вихреисточники. Метод Чаплыгина. Уравнение Чаплыгина. Решение Цзяна, правило подобия Прандтля-Глауэрта.

### 9.2. Метод характеристик.

Уравнения в характеристической форме. Конус Маха. Ударная поляра.

### 9.3. Волновые движения.

Волны Прандтля-Майера. Ударные волны. Взаимодействие волн.

## **Раздел 10. Подобие при двумерном стационарном обтекании тонких тел идеальным газом**

### 10.1. Обтекание плоского профиля.

Дозвуковое и сверхзвуковое обтекание тонкого плоского профиля, правила подобия Прандтля-Глауэрта и Гёттерта. Трансзвуковое обтекание тонкого плоского профиля, правило подобия Кармана.

### 10.2. Осесимметричное обтекание.

Осесимметричное обтекание тонкого профиля, правило подобия Осватича.

### 10.3. Гиперзвуковое обтекание.

Особенности гиперзвукового обтекания тонких тел. Приближенные решения для течения за ударной волной и в волне Прандтля-Майера. Правило гиперзвукового подобия.

## **Раздел 11. Динамика вязкой жидкости**

### 11.1. Критерии подобия.

Основные уравнения и критерии подобия.

11.2. Точные решения.

Задача о течении в цилиндрических трубах: решение Гагена-Пуазейля. Задача об обтекании сферы: решение Стокса

11.3. Турбулентность.

Опыт Рейнольдса. Осреднение. Уравнения Рейнольдса. Структура турбулентности. Закон Колмогорова-Обухова.

## **Раздел 12. Пограничный слой**

12.1. Общий случай обтекания тел.

Понятие пограничного слоя. Критерии подобия и асимптотики в задаче об обтекании тела. Кризис сопротивления.

12.2. Ламинарный пограничный слой.

Уравнения Прандтля. Задача Блазиуса о продольном обтекании тонкой пластинки.

12.3. Влияние теплопроводности и сжимаемости.

Уравнения с учетом теплопроводности и сжимаемости газа. Температура восстановления. Толщина вытеснения. Толщина потери импульса. Толщина потери энергии. Замена Крокко. Замена Дородницына.

12.4. Влияние турбулентности.

Полуэмпирическая теория Прандтля. Полуэмпирическая теория Кармана.

### **4.2. Лабораторный практикум 18 часов (по разделам)**

Разделы 2, 4, 5 и 8. Лабораторные занятия – 10 час.

Лабораторная работа: Кумуляция при цилиндрической имплозии: моделирование схождения цилиндрической УВ на основе аналогии «мелкой воды»

Разделы 2 и 8. Лабораторные занятия – 8 час.

Лабораторная работа: Кумуляция при столкновении плоских слоев разной плотности: «слойка Забабахина»

### **Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:**

Учебным планом на изучение дисциплины отводится один семестр. В конце семестра предусмотрен экзамен.

При преподавании дисциплины методически целесообразно в каждом разделе курса выделить наиболее важные моменты и акцентировать на них внимание обучаемых.

Предлагается:

- в разделе 1 заострить внимание на выделении существенных и несущественных физических процессов в практических задачах механики жидкости и газа и

соответствующем выборе моделей для адекватного математического описания существенных физических процессов и уравнений для решения задачи;

- в разделе 2 обратить внимание на приёмы применения теории размерности и подобия для упрощения математического решения задачи и при постановке модельных экспериментов;
- в разделах 3-12 рассмотреть оценочные, аналитические и экспериментальные приемы решения классических задач механики жидкости и газа.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Лекции** проводятся, как в традиционной форме, так и в форме лекций с использованием компьютерных презентаций.

**Лабораторные работы** проводятся на стендах в учебной лаборатории кафедры.

**Самостоятельная работа** включает выполнение домашних заданий (решение задач для лабораторных работ), подготовку к зачёту.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.**

Для текущего контроля успеваемости используются устный опрос на лекциях, решение задач на семинарах и при выполнении лабораторных работ.

Аттестация по дисциплине – зачёт.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Основная литература:**

1. Давыдова М.А. Лекции по гидродинамике. М.: Физматлит, 2011.
2. Мешков Е.Е. Исследование гидродинамических неустойчивостей в лабораторных экспериментах. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006.
3. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: Физматлит, 2013.
4. Стернин Л.Е. Основы газовой динамики. М.: Вузовская книга, 2008

**Дополнительная литература:**

1. Волков, К.Н. [Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа](#)

[Электронный ресурс] / К.Н. Волков, В.Н. Емельянов. - Москва : Физматлит, 2012. - 468 с.

2. Механика жидкости и газа. Избранное [Электронный ресурс] . - Москва : Физматлит, 2003

1. **Аэродинамика. МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2010**
2. **Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: Физматлит, 2013.**
3. Глушак Б.Л. Физика взрыва: Сборник задач и упражнений с решениями. Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", 2008.
4. **Давыдова М.А. Лекции по гидродинамике. М.: Физматлит, 2011.**
5. **Крайко А.Н. Теоретическая газовая динамика: классика и современность. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010**
6. **Лобойко Б.Г., Диков О.Ю., Смирнов Е.Б. Сборник задач по газодинамике взрыва. Снежинск-М.: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2007.**
7. **Петров А.Г. Аналитическая гидродинамика. М.: Физматлит, 2010.**
8. **Стернин Л.Е. Основы газовой динамики. М.: Вузовская книга, 2008.**
9. **Штеренлихт Д.В. Гидравлика. М.: Энергоатомиздат, 1984 (3-е изд., перераб. и доп. – М.: КОЛОСС, 2005.)**

**Программное обеспечение** для проведения презентаций (лекции) и обработки результатов экспериментов (лабораторные работы).

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекции и практические занятия по дисциплине проводятся в аудитории, оснащённой компьютером и мультимедийным проектором.

Лабораторные занятия проводятся в научно-учебной гидродинамической лаборатории СарФТИ, оснащенной всем необходимым учебным лабораторным оборудованием.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по направлению 15.03.03 Прикладная механика.

**Программу составил:**

доцент кафедры ТиЭМ, начальник НИ лаборатории ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ

к.ф-м.н.

А.Г. Иоилев

**Рецензент:** заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов