

# Рабочая программа вступительных испытаний в магистратуру

Составлена кафедрой гидроаэродинамики  
*(наименование кафедры-разработчика программы)*

для поступающих в магистратуру по направлению  
03.04.01 «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»

(магистерские программы:  
03.04.01\_02 «Модели и высокопроизводительные вычисления в физической  
гидрогазодинамике»;  
03.04.01\_04 «Экспериментальная и вычислительная теплофизика»)

*(наименования направлений и специальностей)*

## **Введение**

Настоящая программа включает основы механики жидкости и газа, основы термодинамики и теории теплообмена, основы численных методов решения задач гидрогазодинамики и теплообмена – в том объеме, который диктуется потребностями освоения магистерской программы. Предполагается владение экзаменуемым математическим аппаратом, необходимым для строгого изложения данных разделов, в том числе векторным анализом и элементами тензорного анализа, знание уравнений и методов математической физики.

### **1. Основы механики жидкости и газа**

#### **1.1. Кинематика жидкости и газа**

Методы Эйлера и Лагранжа задания движения. Линии, поверхности, трубки тока. Квазитвердая и деформационная формы движения. Вихревые линии и трубки. Индивидуальная, локальная и конвективная производные по времени.

#### **1.2. Законы сохранения массы, импульса и энергии**

Уравнение неразрывности. Объемные и поверхностные силы. Тензор напряжений. Закон сохранения количества движения. Симметричность тензора напряжений. Закон сохранения полной энергии. Мощность внутренних сил.

#### **1.3. Общие уравнения динамики идеальной (невязкой) текучей среды**

Модель идеальной среды. Уравнения Эйлера. Теорема Бернулли. Уравнение баланса энергии для идеальной среды. Безвихревые движения идеальной среды. Потенциал скоростей. Теоремы Кельвина и Лагранжа. Условия существования безвихревых течений.

#### **1.4. Основы газовой динамики**

Скорость звука. Число Маха. Изэнтропические формулы. Одномерное течение газа по трубе переменного сечения. Истечение газа из резервуара в окружающее пространство. Сопло Лавала. Газодинамические разрывы. Прямой скачок уплотнения. Уравнения плоского безвихревого адиабатического движения идеального газа. Обтекание внешней части тупого угла сверхзвуковым потоком. Косой скачок уплотнения.

#### **1.5. Плоские движения идеальной несжимаемой жидкости**

Потенциал скоростей и функция тока. Простейшие плоские потоки. Обтекание кругового цилиндра. Циркуляция вектора скорости по замкнутому контуру. Постулат Жуковского-Чаплыгина для определения циркуляции при обтекании аэродинамических профилей. Формула Жуковского для подъемной силы.

#### **1.6. Основы динамики вязкой несжимаемой жидкости**

Уравнения Навье – Стокса динамики несжимаемой вязкой жидкости. Начальные и граничные условия. Подобие потоков вязкой жидкости. Ламинарное установившееся движение по цилиндрической трубе. Закон сопротивления. Общие представления о динамическом (скоростном) пограничном слое. Уравнения динамики пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя. Пограничный слой на продольно обтекаемой пластине. Интегральные толщины пограничного слоя.

## **1.7. Элементы теории турбулентного движения жидкости**

Понятие турбулентного движения. Подход Рейнольдса для описания осредненного турбулентного движения. Уравнения Рейнольдса. Напряжения Рейнольдса. Коэффициент турбулентной вязкости.

## **2. Основы термодинамики и теплообмена**

### **2.1. Основы термодинамики**

Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Второе начало термодинамики. Энтропия и термодинамическая температура. Термодинамические потенциалы. Фазовые переходы и равновесие в гетерогенной системе. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Уравнение состояния идеального газа.

### **2.2. Теплопроводность и диффузия**

Тепловой поток, его размерность. Формула Фурье для теплового потока. Коэффициент теплопроводности. Уравнение теплопроводности. Стационарная теплопередача через плоскую стенку. Нестационарные задачи теплопроводности. Коэффициент температуропроводности. Температурное поле при наличии фазовых переходов (задача Стефана). Уравнение диффузии. Закон Фика. Коэффициент диффузии.

### **2.3. Теплообмен излучением**

Основные понятия теории лучистого теплообмена. Законы Планка и Стефана-Больцмана. Теплообмен излучением между параллельными поверхностями, разделенными прозрачной средой. Тепловые экраны. Угловые коэффициенты и их свойства.

### **2.4. Конвективный теплообмен**

Уравнение конвективно-диффузионного переноса тепла в низкоскоростных потоках. Виды граничных условий. Параметры подобия вынужденной конвекции. Пристенный тепловой пограничный слой в несжимаемой жидкости: уравнения и граничные условия. Влияние числа Прандтля на отношении толщин динамического и теплового пограничных слоев. Теплоотдача на продольно обтекаемой пластине. Локальный и средний коэффициент теплоотдачи. Число Нуссельта. Теплообмен в трубе при ламинарном вынужденноконвективном течении однородной среды. Свободноконвективный пограничный слой на вертикальных поверхностях. Локальный и средний коэффициент теплоотдачи.

### **2.5. Теплообмен при фазовых переходах**

Виды конденсации. Термическое сопротивление при конденсации. Задача Нуссельта о пленочной конденсации на вертикальной стенке. Теплоотдача при кипении в большом объеме. Кризисы теплоотдачи при кипении.

### **3. Численные методы решения задач гидрогазодинамики и теплообмена**

#### **3.1. Общие понятия теории разностных схем**

Понятия сходимости, аппроксимации и устойчивости разностных схем. Теорема Лакса о сходимости. Метод конечных разностей. Примеры аппроксимации первой и второй производных. Область зависимости решения разностной задачи и область влияния. Явные схемы для модельных уравнений конвективного переноса и нестационарной теплопроводности/диффузии. Условие Куранта, Фридрихса и Леви устойчивости явной схемы. Консервативность (дивергентность) разностных схем. Неявные схемы для пространственно–одномерных задач. Метод прогонки. Схемная вязкость и ее влияние на численное решение.

#### **3.2. Численные схемы для решения многомерных задач**

Численное решение многомерных задач стационарной теплопроводности по методу конечных разностей. Прямые и итерационные методы решения дискретизированного уравнения Пуассона. Явные схемы для решения многомерного нестационарного уравнения теплопроводности. Неявные схемы для решения многомерного нестационарного уравнения теплопроводности. Решение задач по методу установления. Методы расщепления для решения многомерных задач.

### **Литература**

#### **Основная**

1. Базаров И.П. Термодинамика: учебник. Изд. 5-е, стер. – СПб.: Лань, 2010. – 375 с.
2. Барилевич В.А., Смирнов Ю.А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена. СПб. 2010. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена [Электронный ресурс] : учеб. пособие. СПб, 2010. <URL:<http://dl.unilib.neva.ru/dl/1976.pdf>>.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа : Учеб. для вузов. 7-е изд. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики: Учеб. пособие. 2-е изд. – М.: Научный мир, 2003. – 315 с.

#### **Дополнительная**

1. Григорьев Б.А., Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с.
2. Колешко С.Б., Попов Ф.Д. Механика жидкости и газа. Разностные схемы: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 72 с. ([Электронный ресурс]: <URL:[https://aero.spbstu.ru/attachments/article/81/koleshko\\_mss\\_difference\\_schemes.pdf](https://aero.spbstu.ru/attachments/article/81/koleshko_mss_difference_schemes.pdf)>).
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов: [в 10 т.] М.: Наука, 1980-1987. Т. 6: Гидродинамика. – Изд. 3-е, перераб. – 1986. – 733 с. (Изд. 5-е, стер. – 2003. – 731 с.)
4. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука: Физматлит, 1974. – 711 с.