

Министерство науки и высшего образования РФ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и ИКТ

С.А. Матвеев

2018 г.



## КАНДИДАТСКИЙ ЭКЗАМЕН ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ:

01.06.01 – математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)  
*(указывается код и наименование направления подготовки)*

НАПРАВЛЕННОСТЬ ПОДГОТОВКИ:

01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы  
*(указывается наименование направленности)*

КВАЛИФИКАЦИЯ: Исследователь. Преподаватель-исследователь

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ: очная, заочная

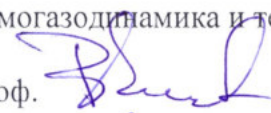
Санкт-Петербург, 2018 г.

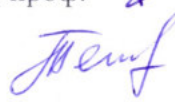
## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

### 01.06.01 Математика и механика

Программу составили: кафедра А9 "Плазмогазодинамика и теплотехника"

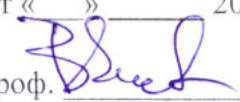
Емельянов В.Н., зав. каф., д.т.н., проф. 

Тетерина И.В., доц., к.т.н. 


Эксперт(ы): *Заместитель начальника проектного отдела АО ЦКБ МТ «Рубин»,  
г.т.ч. Сухоруков А.А.*



Программа рассмотрена на заседании кафедры-разработчика рабочей программы А9 "Плазмогазодинамика и теплотехника", протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Заведующий кафедрой, д.т.н., проф.  /Емельянов В.Н./

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП) 01.00.00 Математика и механика, протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Председатель УМК по УГНиСП, д.ф.-м.н., проф.  /Соколов Е.И./

Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

« 31 » 10 2018 г.

Директор библиотеки  /Сесина Н.В./

## **1 СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

Программа кандидатского экзамена состоит из двух разделов.

Первый раздел соответствует программе – минимум, разработанной экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по математике и механике при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Московского физико-технического института (государственного университета) и Института прикладной механики Уральского отделения РАН.

Второй раздел программы кандидатского экзамена содержит разделы, отвечающие тематике диссертационной работы.

В тех случаях, когда тематика диссертации выходит за рамки предлагаемых разделов, в рабочую программу вводятся дополнения.

## **2 СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

### **ОСНОВНАЯ ПРОГРАММА**

#### **1. Основные понятия**

Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.

Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований.

Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.

#### **2. Кинематика сплошных сред**

Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.

Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.

Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещения, траектории, скорость, линии тока, критические точки, ускорение, тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости, циркуляция скорости, установившееся и неустановившееся движение среды. Кинематические свойства вихрей.

#### **3. Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики**

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потоки диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.



Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. Свойства гармонических функций. Многозначность потенциала в многосвязных областях.

Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости. Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела. Движение сферы в идеальной жидкости.

Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости.

Основы теории присоединенных масс. Парадокс Даламбера.

Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики.

Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля. Формулы Чаплыгина и теорема

Жуковского. Правило Жуковского и Чаплыгина определения циркуляции вокруг крыльев с острой задней кромкой. Нестационарное обтекание профилей.

Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй. Схемы Кирхгофа, Эфроса и др.

Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам. Формулы Био-Савара. Прямолинейный и кольцевой вихри. Законы распределения давлений, силы, обуславливающие вынужденное движение прямолинейных вихрей в плоском потоке.

Постановка задачи и основные результаты теории крыла конечного размаха. Несущая линия и несущая поверхность.

Постановка задачи Коши - Пуассона о волнах на поверхности тяжелой несжимаемой жидкости.

Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн. Перенос энергии прогрессивными волнами.

Теория мелкой воды. Уравнения Буссинеска и Кортевега-де-Вриза. Нелинейные волны. Солитон.

## **8. Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Турбулентность**

Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля. Течение вязкой жидкости в диффузоре. Диффузия вихря.

Приближения Стокса и Озеена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса.

Ламинарный пограничный слой. Задача Блазиуса. Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя.

Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца. Закон сохранения полного заряда. Закон Ома. Среды с идеальной проводимостью. Вектор и уравнение Умова-Пойнтинга. Джоулево тепло. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды.

Уравнения магнитной гидродинамики. Условия вмороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.

### **11. Физическое подобие, моделирование**

Система определяющих параметров для выделенного класса явлений. Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей. П-теорема. Примеры приложений. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда, Рейнольдса, Струхала, Прандтля.

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**

### **1. Криволинейные координаты и криволинейные сетки в задачах механики сплошной среды**

Криволинейные координаты и схема решения задач МЖГ с использованием произвольных, согласованных с границами систем координат. Методы отображения расчетной области на вычислительное пространство.

Основной и взаимный базис. Ковариантные и контравариантные проекции вектора. Фундаментальный метрический тензор. Структурные характеристики криволинейных сеток. Ортогональность.

Методы генерации криволинейных сеток, согласованных с границами физической области, на основе дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического параболического и гиперболического типов. Конечно-разностные схемы для решения задачи о построении криволинейной системы координат.

Методы конечных разностей, конечного объема и конечных элементов применительно к решению задач механики сплошной среды на криволинейных сетках. Аппроксимация потоков на гранях контрольного объема произвольной формы. Реализация краевых условий характеристического типа в криволинейной системе координат.

Сетки на основе триангуляции области. Триангуляция Делоне. Метод конечного объема на треугольных сетках.



Противопоточные мотивы в схемах расщепления матричных коэффициентов и расщеплении приращений потоков. Теорема Годунова о монотонности и схема Колгана. Понятие ограничителей. Свойство ограниченности полной вариации и семейство гибридных противопоточных схем. Современные противопоточные схемы повышенного порядка аппроксимации.

### **3. Двухфазные течения**

Классификация двухфазных течений. Подходы к моделированию.

Основные уравнения механики двухфазных течений.

Сопротивление и теплообмен частиц в потоке.

Турбулентные двухфазные течения.

### **4. Механика смесей газов и плазмодинамика**

Законы сохранения для смесей. Понятие термодинамического равновесия. Температура и энтропия смеси. Давление внутренней энергии и энтропия смеси идеальных газов. Химическое равновесие. Закон действующих масс. Диссоциация и ионизация. Константы равновесия в случае диссоциации и ионизации. Формула Саха. Определение концентраций для реакций протекающих в воздухе в области диссоциации и ионизации. Приближенные методы определения термодинамических свойств при диссоциации и ионизации.

Химически и термодинамически неравновесные системы. Основные сведения из химической кинетики. Кинетика реакций и физика горения. Цепные реакции. Зависимость скорости реакции от температуры, концентрации и давления. Форма Аррениуса. Переносные характеристики смесей.

Уравнения состояния и движения релаксирующего газа. Основные уравнения динамики плазмы. Законы сохранения. Уравнения Максвелла для поля. Свойства плазмы.

Магнитная газодинамика и электромагнитная газодинамика.

Теория столба электрической дуги.

### **5. Газодинамика течений с энергоподводом**

Теории распространения пламени. Стационарное распространение пламени в предварительно перемешанной смеси газов. Теория Зельдовича - Франк - Каменецкого. Турбулентное горение.

Стационарное одномерное течение с подводом энергии. Критический подвод тепла и термическая блокировка. Кривая Рэнкина- Гюгоньо для фронта реакции. Различные виды фронтов реакции. Классическая теория детонации. Модель детонации Зельдовича - Деринга - Неймана.

Пробой в газах. Основные понятия теории электрического разряда в газах. Газодинамика электрической дуги в потоке.

Лазерный пробой. Понятие о светодетонационных волнах.

Возможности ООП применительно к классу задач вычислительной газодинамики.

### 9. Нестационарная газодинамика

Основные уравнения и модели нестационарной газодинамики

Формирование, взаимодействие и отражение ударных волн

Распространение ударных волн в соплах

Методы создания и моделирования пульсирующих потоков

Взаимодействие нестационарных потоков с телами

### 10. Внутренняя газодинамика РДТТ

Характеристики РДТТ и внутренние процессы

Ракетные твердые топлива, характеристики продуктов горения

Термогазодинамика РДТТ

Газодинамика течения продуктов горения с учетом влияния конструктивных особенностей

Неустойчивые внутрикамерные процессы в РДТТ

Экспериментальные методы внутренней газодинамики

## 3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная литература:

№ п/п	Автор	Наименование	Издательство	Год издания
1.	Савельев Ю.П.	Лекции по основам механики вязкой жидкости и газа	СПб, Наука	2014
2.	Смирнов Б. М.	Свойства газоразрядной плазмы	СПб. : Изд-во Политехн. ун-та	2010
3.	Волков К.Н., Емельянов В.Н.	Течения и теплообмен в каналах и вращающихся полостях	М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 488 с. ISBN 978-5-9221-1182-9	2010
4.	Волков К.Н., Емельянов В.Н.	Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа	М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 468 с. ISBN 978-5-9221-1438-7	2012
5.	Волков К.Н., Дерюгин Ю.Н., Емельянов В.Н., Карпенко А.Г., Козелков А.С., Терина И.В.	Методы ускорения газодинамических расчетов на неструктурированных сетках / Под ред. проф. В.Н. Емельянова.	М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. - 536 с.	2013

рогазодинамики. – Л.: ЛМИ, 1991. – 142 с.

18. Емельянов В.Н. Теория напряжений и основные модели механики сплошной среды: учебное пособие Балт. гос. техн. ун-та. – СПб., 2006. – 160 с.
19. Флетчер Л. Вычислительные методы в динамике жидкостей. В 2-х т. – М.: Мир, 1991.
20. Либби П., Вильямс Ф. Турбулентные течения реагирующих газов. – М.: Мир, 1983. – 328 с.
21. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. – В 2-х т. М.: Наука, 1987.
22. Бай Ши-и. Магнитная газодинамика и динамика плазмы. М.: Мир, 1964.
23. Кларк Дж. Макчесни М. Динамика реальных газов М.: Мир, 1967. – 566 с.
24. Лонгмайер К. Физика плазмы. М.: Атомиздат, 1966. – 342 с.
25. Семиохин И.А. Элементарные процессы в низкотемпературной плазме. М.: Изд-во МГУ, 1988. – 142 с.
26. Неравновесные физико-химические процессы в аэродинамике. Под. ред. Г.И. Майкапара М.: Машиностроение 1972. – 344 с.
27. Гинзбург И.П. Трение и теплопередача при движении смеси газов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. – 278 с.
28. Щетинков Е.С. Физика горения газов. М.: ФМ, 1965. – 740 с.
29. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1992. – 536 с.
30. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. – 688 с.