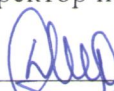


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Набережночелнинский институт (филиал)

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор –
Проректор по научной деятельности


«27» 01/2023 Д. А. Таюрский



ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

по специальной дисциплине, соответствующей научной специальности программы аспирантуры

Научная специальность: **1.1.9 - Механика жидкости, газа и плазмы**

Высшая инженерная школа
Кафедра высокоэнергетических процессов и агрегатов

Казань 2023 г.

Цель и задачи кандидатского экзамена по специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы

Цель:

Целью подготовки к сдаче и сдачи кандидатского экзамена является: установить глубину профессиональных знаний и уровень сформированности профессиональных компетенций аспиранта.

Задачами является выявление:

Определить уровень сформированности знаний, умений и практических навыков по общим и частным разделам механики жидкости, газа и плазмы;

Установить подготовленность аспиранта к исследовательской и практической деятельности в области механики жидкости, газа и плазмы.

Основные требования:

Оценка за кандидатский экзамен формируется как среднее значение оценок за выполнение всех заданий экзаменационного билета и выставляется в пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Отлично (высокий уровень)

Хорошо (средний уровень)

Удовлетворительно (низкий уровень)

Неудовлетворительно (ниже порогового уровня)

Если сформированность хотя бы одной компетенции оценивается ниже порогового уровня, оценка за кандидатский экзамен – «неудовлетворительно»

Порядок проведения кандидатского экзамена

Экзамен проводится в письменной форме по билетам.

Всего в списке 155 вопросов. В каждом билете по 3 вопроса.

Время, отведенное для написания ответа – 1,5 часа.

После проверки ответов преподаватель может задать обучающемуся дополнительные вопросы с целью уточнения уровня освоения компетенций.

Критерии оценивания

Оценка «отлично» ставится, если обучающийся дал развернутые верные ответы на вопросы в экзаменационном билете.

Оценка «хорошо» ставится, если обучающийся дал ответы на вопросы в экзаменационном билете с незначительными ошибками.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если обучающийся дал неполные ответы на вопросы в экзаменационном билете, допустив при этом несколько существенных ошибок.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если обучающийся либо дал краткие ответы на вопросы в экзаменационном билете, допустив при этом много существенных ошибок, либо не ответил на вопросы совсем.

Вопросы программы кандидатского экзамена по научной специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы

Вопросы к экзамену:

По дисциплине «Механика жидкости, газа и плазмы»:

- 1) Введение. Понятие сплошной среды.
- 2) Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.
- 3) Области приложения механики жидкости, газа и плазмы.
- 4) Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований.
- 5) Кинематика сплошных сред. Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты.

6) Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике. Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.

7) Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещения, траектории, скорость, линии тока, критические точки, ускорение,

8) Определения и свойства кинематических характеристик движения: тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости,

9) Определения и свойства кинематических характеристик движения: циркуляция скорости, установившееся и неустановившееся движение среды.

10) Кинематические свойства вихрей.

11) Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости.

12) Многокомпонентные смеси. Потоки диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.

13) Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы.

14) Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды.

15) Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды. Работа внутренних поверхностных сил.

16) Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах.

17) Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия. Уравнения состояния.

18) Уравнение притока тепла. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла.

19) Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др.

20) Обратимые и необратимые процессы. Энтропия и абсолютная температура.

21) Диссипативная функция. Основные макроскопические механизмы диссипации.

22) Модели жидких и газообразных сред. Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера.

23) Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.

24) Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа.

25) Явление кавитации.

26) Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей.

27) Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость.

28) Уравнения Навье-Стокса. Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.

29) Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости.

30) Применение интегральных соотношений к конечным объемам среды при установившемся движении.

31) Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы. Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности.

32) Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле. Тангенциальные разрывы и ударные волны.

33) Гидростатика. Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил.

34) Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы.

35) Движение идеальной несжимаемой жидкости. Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости.

36) Свойства гармонических функций. Многозначность потенциала в многосвязных областях.

37) Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости.

- 38) Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела.
- 39) Движение сферы в идеальной жидкости.
- 40) Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости.
- 41) Основы теории присоединенных масс. Парадокс Даламбера.
- 42) Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока.
- 43) Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики.
- 44) Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля. Формулы Чаплыгина и теорема Жуковского.
- 45) Правило Жуковского и Чаплыгина определения циркуляции вокруг крыльев с острой задней кромкой.
- 46) Нестационарное обтекание профилей.
- 47) Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй. Схемы Кирхгофа, Эфроса и др.
- 48) Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам. Формулы Био-Савара. Прямолинейный и кольцевой вихри.
- 49) Законы распределения давлений, силы, обуславливающие вынужденное движение прямолинейных вихрей в плоском потоке.
- 50) Постановка задачи и основные результаты теории крыла конечного размаха.
- 51) Движение вязкой жидкости. Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости.
- 52) Течения Куэтта и Пуазейля.
- 53) Течение вязкой жидкости в диффузоре.
- 54) Диффузия вихря. Приближение Стокса. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса.
- 55) Теория пограничного слоя. Ламинарный пограничный слой. Задача Блазиуса.
- 56) Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя.
- 57) Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя.
- 58) Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя.
- 59) Турбулентность. Опыт Рейнольдса.
- 60) Уравнения Рейнольдса.
- 61) Турбулентный перенос тепла и вещества.
- 62) Полуэмпирические теории турбулентности.
- 63) Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон.
- 64) Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности.
- 65) Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска.
- 66) Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. Понятие о странном аттракторе.
- 67) Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики.
- 68) Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений.
- 69) Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика. Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение.
- 70) Скорость звука. Запаздывающие потенциалы. Эффект Доплера. Конус Маха.
- 71) Уравнения газовой динамики. Характеристики.
- 72) Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении.
- 73) Элементарная теория сопла Лавалья.
- 74) Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами.

- 75) Автомодельные движения и классы соответствующих задач. Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе.
 - 76) Волны Римана. Эффект опрокидывания волн.
 - 77) Адиабата Гюгонио. Эволюционные и неэволюционные разрывы.
 - 78) Теория волн детонации и горения. Правило Жуге и его обоснование.
 - 79) Задача о структуре сильного разрыва. Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва.
 - 80) Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Метод характеристик.
 - 81) Течение Прандтля-Майера. Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса.
 - 82) Понятие об обтекании тел газом с отошедшей ударной волной. Линейная теория обтекания тонких профилей и тел вращения.
 - 83) Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона.
 - 84) Электромагнитные явления в жидкостях. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте.
 - 85) Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца.
 - 86) Закон сохранения полного заряда. Закон Ома.
 - 87) Среды с идеальной проводимостью. Вектор и уравнение Умова-Пойнтинга.
 - 88) Джоулево тепло. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды.
 - 89) Уравнения магнитной гидродинамики. Условия вмороженности магнитного поля в среду.
 - 90) Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.
 - 91) Физическое подобие, моделирование. Система определяющих параметров для выделенного класса явлений.
 - 92) Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей.
 - 93) П-теорема. Примеры приложений.
 - 94) Определение физического подобия. Моделирование.
 - 95) Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда, Рейнольдса, Струхала, Прандтля.
- По дисциплине «Вычислительная гидродинамика»
- 96) Введение. Преимущества вычислительной гидроаэродинамики. Характерные практические задачи. Обзор общих принципов вычислительной гидроаэродинамики.
 - 97) Гиперболические, параболические и эллиптические дифференциальные уравнения в частных производных. Основные положения.
 - 98) Традиционные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных.
 - 99) Сведения о приемах вычислений. Теоретические основы. Дискретизация. Аппроксимация производных. Точность процесса дискретизации.
 - 100) Метод конечных разностей. Сходимость. Согласованность. Устойчивость. Точность решения. Вычислительная эффективность.
 - 101) Методы взвешенных невязок. Общая формулировка.
 - 102) Метод конечных объемов.
 - 103) Метод конечных элементов.
 - 104) Одномерное и двумерное уравнение диффузии.
 - 105) Явные и неявные методы.
 - 106) Граничные и начальные условия.
 - 107) Схемы расщепления и метод конечных элементов. Граничные условия Неймана.
 - 108) Одномерное линейное уравнение конвекции. Численная диссипация и дисперсия.
 - 109) Стационарное уравнение с конвекцией и диффузией. Одномерное и двумерное уравнение переноса. Системы уравнений.
 - 110) Динамика жидкости. Уравнения неразрывности. Уравнение количества движения для невязкого и вязкого течений. Уравнение энергии. Динамическое подобие.

- 111) Несжимаемое невязкое течение в ламинарном и турбулентном пограничном слое. Отрыв пограничного слоя.
- 112) Вязкие несжимаемые ламинарное и турбулентное течения.
- 113) Невязкие и вязкие сжимаемые течения. Граничные условия для сжимаемых вязких течений.
- 114) Обобщенные криволинейные координаты. Метрический тензор и физические свойства преобразования.
- 115) Ограничения на ортогональные и конформные координаты. Формулы с центральными разностями.
- 116) Аппроксимация методом конечных элементов. Дополнительные ошибки, связанные с использованием обобщенных координат.
- 117) Построение сеток. Односвязные и многосвязные области. Конформное отображение. Построение ортогональных сеток.
- 118) Решение эллиптических уравнений в частных производных.
- 119) Невязкие течения. Обтекание профиля с подъемной силой.
- 120) Сверхзвуковые невязкие течения. Схема предиктор-корректор Мак-Кормака. Обтекание конуса под углом атаки.
- 121) Неявные схемы для уравнений Эйлера. Многосеточные методы решений уравнений Эйлера. Трансзвуковые невязкие течения.
- 122) Течения в пограничном слое. Ламинарный пограничный слой. Связанная схема Дэвиса. Метод конечных элементов в подходе Дородницына.
- 123) Несжимаемые вязкие течения. Нестационарные течения. Разнесенная сетка. Граничные условия. Разности высокого порядка против потока.
- 124) Стационарные течения. Искусственная сжимаемость. Метод SIMPLE. Метод конечных элементов. Переменные завихренность-функция тока.
- 125) Сжимаемые вязкие течения. Физические упрощения. Модели турбулентной вязкости. Приближение тонкого слоя. Явные и неявные схемы.
По дисциплине «Теория турбулентного движения»
- 126) Введение. Ламинарные и турбулентные течения. Переход к турбулентному течению.
- 127) Трехмерный и нестационарный характер турбулентного течения. Вихревая структура. Растяжение вихрей. Масштабы. Энергия и масштаб турбулентности.
- 128) Математические подходы к анализу турбулентности. Оценка возможностей компьютеров. Проблема выбора адекватной модели турбулентности.
- 129) Вывод уравнений турбулентного движения жидкости. Осредненные по Рейнольдсу уравнения движения для вязкой несжимаемой жидкости (RANS).
- 130) Уравнения для рейнольдсовых напряжений.
- 131) Уравнение для кинетической энергии турбулентных пульсаций.
- 132) Уравнение для изотропной диссипации турбулентности.
- 133) Осредненная форма уравнения энергии. Уравнения для составляющих турбулентного потока тепла.
- 134) Уравнение для интенсивности турбулентных пульсаций температуры.
- 135) Гипотеза Буссинеска. Изотропная турбулентность. Турбулентная вязкость.
- 136) Алгебраические модели турбулентности. Модель пути смешения Прандтля.
- 137) Моделирование пограничных слоев.
- 138) Модель Себеси-Смита. Модель Болдуина-Ломакса.
- 139) Модель Прандтля-Лойцянского-Клаузера. Модель Джонсона-Кинга.
- 140) Модель Колмогорова-Прандтля.
- 141) Уравнение для турбулентной вязкости. Модель Спалларта-Аллмареса.
- 142) Модели турбулентности k-ε. Моделирование членов генерации, диссипации и диффузии в уравнении для изотропной диссипации. Модельная форма записи.
- 143) Метод пристеночных функций.

- 144) Влияние низкорейнольдсовых эффектов в моделях.
- 145) Модели турбулентности $k-\omega$. Модель турбулентности Саффмена-Вилкокса.
- 146) Двухслойная модель турбулентности SST Ментера.
- 147) Учет влияния кривизны линий тока на характеристики турбулентности.
- 148) Нелинейная двухпараметрическая диссипативная модель турбулентности.
- 149) Двухпараметрическая диссипативная модель, учитывающая влияние сил плавучести.
- 150) Модели переноса рейнольдсовых напряжений. Модельная форма записи.
- 151) Прямое численное моделирование (DNS) турбулентных течений. Колмогоровские масштабы турбулентности (длина, время, скорость).
- 152) Спектр энергии турбулентных пульсаций. Оценка требуемых для DNS размеров расчетной сетки и временного шага.
- 153) Метод моделирования крупных вихрей (LES).
- 154) Метод моделирования отсоединенных вихрей (DES). Фильтрация уравнений.
- 155) Модели подсеточного масштаба.

Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы кандидатского экзамена в аспирантуру по научной специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы

Основная литература:

1. Гиргидов А Д Механика жидкости и газа (гидравлика) [Электронный ресурс] : учебник / А. Д. Гиргидов. - Москва : ИНФРА-М, 2014. - 704 с.: ил. - (Высшее образование : Бакалавриат). - В пер. - ISBN 978-5-16-009473-1. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=443613> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.

2. Семенов В. П. Основы механики жидкости [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. П. Семенов. - Москва : ФЛИНТА, 2013. - 375 с. - ISBN 978-5-9765-0870-5. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=462982> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.

3. Браун А. Г. Элементы квантовой механики и физики атомного ядра [Электронный ресурс] : учебное пособие/А. Г.Браун, И. Г.Левитина - Москва : ИНФРА-М, 2017. - 84 с. - (Высшее образование : Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-010384-6. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=486392> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.

4. Никеров В. А. Физика для вузов : Механика и молекулярная физика [Электронный ресурс] : учебник / В. А. Никеров. - Москва : Дашков и К°, 2012. - 136 с. - ISBN 978-5-394-00691-3. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=415061> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.

5. Семенов В. П. Основы механики жидкости [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. П. Семенов. - Москва : ФЛИНТА, 2013. - 375 с. - ISBN 978-5-9765-0870-5. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=462982> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.

Дополнительная литература

6. Темам, Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред : учебное пособие / Р. Темам, А. Миранвиль ; под редакцией Г. М. Кобелькова ; перевод И. О. Арушаняна. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2017. — 323 с. — ISBN 978-5-00101-494-2. — URL: <https://e.lanbook.com/book/94110> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.

7. Кучер, Н. А. Нестационарные задачи механики вязких сжимаемых сред : монография / Н. А. Кучер. — Кемерово : КемГУ, 2014. — 202 с. — ISBN 978-5-8353-1790-5. — URL: <https://e.lanbook.com/book/61393> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.
8. Бакунин, О. Г. Турбулентность и диффузия. От хаоса к структурам / О. Г. Бакунин. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 235 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/48259> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный
9. Волков, К. Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений : учебное пособие / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 368 с. — ISBN 978-5-9221-0920-8. — URL: <https://e.lanbook.com/book/49083> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный
10. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — 5-е изд., стер. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Том 6 : Гидродинамика — 2001. — 736 с. — ISBN 5-9221-0121-8. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2232> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный
11. Брушлинский, К. В. Математические и вычислительные задачи магнитной газодинамики : монография / К. В. Брушлинский. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 203 с. — ISBN 978-5-00101-708-0. — URL: <https://e.lanbook.com/book/135546> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.
12. Амосов, А. А. Вычислительные методы : учебное пособие / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 672 с. — ISBN 978-5-8114-1623-3. — URL: <https://e.lanbook.com/book/42190> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.
13. Башкин, В. А. Численное исследование задач внешней и внутренней аэродинамики : монография / В. А. Башкин, И. В. Егоров. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 332 с. — ISBN 978-5-9221-1524-7. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59694> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.
14. Волков, К. Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа : учебное пособие / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 468 с. — ISBN 978-5-9221-1438-7. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59637> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.
15. Башкин, В. А. Численное моделирование динамики вязкого совершенного газа : монография / В. А. Башкин, И. В. Егоров. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 372 с. — ISBN 978-5-9221-1265-9. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59740> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.
16. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики : учебное пособие / Г. И. Марчук. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2009. — 608 с. — ISBN 978-5-8114-0892-4. — URL: <https://e.lanbook.com/book/255> (дата обращения: 29.03.2023). — Текст : электронный.

Перечень информационных технологий, используемых для подготовки к сдаче и сдачи кандидатского экзамена, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

1. Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)
2. Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

3. Браузер Mozilla Firefox
4. Браузер Google Chrome
5. Adobe Reader XI
6. Kaspersky Endpoint Security для Windows
7. ЭБС ZNANIUM.COM
8. ЭБС Издательства «Лань»
9. ЭБС «Консультант студента»
10. ЭБС «Университетская библиотека online»
11. ЭБС «Айбукс»