

**Приложение 6**  
**УТВЕРЖДЕНО**  
**Приказом по ФИЦ КазНЦ РАН**  
**от 25.04.2018 № 16-А**

Рекомендовано к утверждению  
Ученым советом ИММ - обособ-  
ленного структурного подразделе-  
ния ФИЦ КазНЦ РАН 12 апреля  
2018 года, протокол № 5

Рекомендовано к утверждению  
Ученым советом ИЭПТ - структур-  
ного подразделения ФИЦ КазНЦ  
РАН 25 апреля 2018 года, протокол  
№ 1

## **ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

по дисциплине

### **«Механика жидкостей, газа и плазмы»**

Уровень высшего образования  
Подготовка кадров высшей квалификации  
Направление подготовки

**01.06.01 Математика и механика**

физико-математические и технические науки

Направленность подготовки:

01.02.05 - Механика жидкостей, газа и плазмы

Квалификация выпускника:

Исследователь. Преподаватель-исследователь

## *1. Введение*

Кандидатский экзамен по дисциплине «Механика жидкостей, газа и плазмы» является формой промежуточной аттестации аспирантов, обучающихся по направлению подготовки 01.06.01 - Математика и механика, по направленности (специальности) 01.02.05 «Механика жидкостей, газа и плазмы» по физико-математическим и техническим наукам.

В ходе экзамена оценивается степень овладения аспирантами следующих компетенций

### **1.1 Универсальные компетенции:**

- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3).

### **1.2 Общепрофессиональные компетенции:**

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

### **1.3 Профессиональные компетенции:**

- владение современными теориями, моделями и методами исследования, необходимыми для решения научно-исследовательских задач и преподавательской деятельности в области механики жидкости, газа и плазмы (ПК-1);
- способность самостоятельно проводить научные исследования, формулировать выводы и подготавливать научные публикации в области механики жидкости, газа и плазмы (ПК-2);
- способность анализировать научную литературу и выделять перспективные направления развития исследований и разработок в области механики жидкости, газа и плазмы (ПК-3).

Настоящая программа разработана на основе программы, утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации (Приказ Минобрнауки РФ от 08.10.2007 № 274 «Об утверждении программ кандидатских экзаменов»).

Программа включает основные разделы механики сплошной среды, гидромеханики, газовой динамики, термодинамики, электродинамики.

Кандидатский экзамен по дисциплине «Механика жидкостей, газа и плазмы» проводится в устной форме по вопросам программы, на экзамене предлагается три вопроса (без билетов). После устного ответа могут быть заданы дополнительные и уточняющие вопросы, не выходящие за пределы программы кандидатского экзамена.

## **2. Программа кандидатского экзамена**

### **1. Вводные положения**

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 ([5], Введение; [2], гл. I, §§ 1, 2).

Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа ([5], Введение).

### **2. Кинематика сплошных сред**

Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты ([2], гл. II, §§1, 2). Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике ([2], гл. II, §§ 1, 2; гл. VI, § 3; [3\*], § 5).

Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред ([1], ч. I, гл. I, §§ 6-8; [2], гл. II, §§ 1-3, [11], гл I, §§ 3-4).

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 ([2], гл. II, §§ 1-3, 6-8; [1], ч. I, гл. I, § 9, [11], гл I, §§ 5-8).

Кинематические свойства вихрей ([2], гл. VI, § 7; [5] § 6).

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

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потoki диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей ([2], гл. III, § 1; [4], § 58, [11], гл I, § 9, гл III, § 2).

Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы. ([11], гл II, §§ 1-2) Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды ([2], гл. III, § 2, 3, [11], гл II, §§ 3-4).

Работа внутренних поверхностных сил. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах ([2], гл. V, § 1).

Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия ([2], гл. V, § 2, [11], гл III, §§ 5-6). Уравнение притока тепла ([2], гл. 5, § 2). Вектор потока тепла ([2], гл. V, § 7). Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла ([3\*], § 13, [11], гл III, § 7). Законы теплопроводности Фурье ([2], гл. V, § 7). Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др. ([2]. гл. V, § 4).

Обратимые и необратимые процессы ([2], гл. V, § 3, [11], гл V, § 1). Совершенный газ ([2], гл. V, § 4). Цикл Карно ([2], гл. V, § 4, [11], гл V, § 3). Второй закон термодинамики ([2], гл. V, § 5; [3\*], §§ 13-15, [11], гл V, §§ 4, 6) . Энтропия и абсолютная температура ([2], гл. V, § 5, [11], гл III, § 7). Некомпенсированное тепло и производство энтропии ([2], гл. V, §§ 5, 8). Неравенство диссипации, тождество Гиббса ([3\*], §§ 13-15). Диссипативная функция ([2], гл. V, § 8, [11], гл V, § 14). Основные макроскопические механизмы диссипации ([2], гл. V, §§ 7, 8, [11], гл V, § 14). Понятие о принципе Онзагера ([2], гл. V, § 8, 9; [3\*], § 13). Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред ([2], гл. V, § 6, [11], гл V, § 7).

#### 4. Модели жидких и газообразных сред

Модель идеальной жидкости ([2], гл. IV. § 1; гл. V, § 7, [11], гл IV, § 2). Уравнения Эйлера ([2], гл. IV, § 1). Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия ([2], гл. IV, § 1, гл. V, § 7; гл. VII, § 1).

Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа ([2], гл. VIII, §§ 2-5, [11], гл IV, § 3). Явление кавитации ([2], гл. VIII, §§ 4, 8); ([9], гл. V, § 2).

Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях . Возникновение вихрей. Теорема Бьеркнеса ([1], ч. I, гл. V, §§ 1-9; [2], гл. VI, § 7).

Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса ([2], гл. IV, § 2; [4], § 15, [11], гл IV, §§ 4-5). Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия ([2], гл. V, § 7; гл. VII, §1, [11], гл IV, §§ 4-5). Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости ([2], гл. V, § 7; [4], § 16).

Применение интегральных соотношений к конечным объемам среды при установившемся движении ([2], гл. VIII, § 7). Теория реактивной тяги и теория идеального пропеллера ([2], гл. VIII, § 10).

#### 5. Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы

Поверхности слабых и сильных разрывов ([1], ч. II, гл. I, § 4). Разрывы сплошности ([3\*], §§ 18, 19, [11], гл III, § 9).

Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле ([2], гл. VII, §§ 4, 5; [3\*], § 35, [11], гл III, §§ 9-11). Тангенциальные разрывы и ударные волны ([3\*], § 18, 19, [11], гл III, §§ 9-11).

## 6. Гидростатика

Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы ([2], VIII § 1; [1], ч. I, гл. III, §§ 1-4, 8, [11], гл IV, § 6).

## 7. Движение идеальной несжимаемой жидкости

Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости ([2], гл. VIII, § 12, [11], гл IV, § 3). Свойства гармонических функций ([2], гл. VIII, § 12). Многозначность потенциала в многосвязных областях ([1], ч. I, гл. I, § 18). Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости ([2], гл. VIII, § 14). Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела ([2], гл. VIII, § 15). Движение сферы в идеальной жидкости ([2], гл. VIII, § 13).

Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости ([2], гл. VIII, § 16). Основы теории присоединенных масс ([2], гл. VIII, § 15). Парадокс Даламбера ([2], гл. VIII, §§ 8, 16).

Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики ([1], ч. I, гл. III, §§ 11-16; [5], §§ 39, 40). Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля ([5], § 41). Формулы Чаплыгина и теорема Жуковского ([1], ч. I, гл. VI, §§ 5, 6; [5], § 44). Правило Жуковского и Чаплыгина определения циркуляции вокруг крыльев с острой задней кромкой ([1], ч. I, гл. VI, § 7; [5], § 41). Нестационарное обтекание профилей ([1\*], гл. I, §§ 1-5).

Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй. Схемы Кирхгофа, Эфроса и др. ([1], ч. I, гл. VI, § 16; [5], § 47; [1\*], гл. V, § 4).

Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам ([1], ч. I, гл. V, § 11; [2], гл. VIII, § 26). Формулы Био-Савара. Прямолинейный и кольцевой вихри ([1], ч. I, гл. V, §§ 12-15; [2], гл. VIII, § 27). Законы распределения давлений, силы, обуславливающие вынужденное движение прямолинейных вихрей в плоском потоке ([2], гл. VIII, § 28).

Постановка задачи и основные результаты теории крыла конечного размаха. Несущая линия и несущая поверхность ([2], гл. VII, § 27; [5], § 68).

Постановка задачи Коши-Пуассона о волнах на поверхности тяжелой несжимаемой жидкости ([1], ч. I, гл. VIII, §§ 2, 3; [3\*], § 24). Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн ([1], ч. I, гл. VII, § 8; [3\*], § 24; [7\*], §§ 11.1, 11.2,

11.4). Перенос энергии прогрессивными волнами ([1], ч. I, гл. VII, §§ 18-19; [7\*], § 11.6). Теория мелкой воды ([4], § 108; [7\*], § 13.10). Уравнения Буссинеска и Кортвега-де-Вриза. Нелинейные волны. Солитон ([7\*], §§ 13.11, 13.12; [3\*], § 24).

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

Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля ([1], ч. II, гл. II, §§ 11, 12; [2], гл. VIII, § 21). Течение вязкой жидкости в диффузоре ([8], гл. V, §§ 6, 9; гл. X, §§ 3, 4; [4], § 23). Диффузия вихря ([2], гл. VIII, § 30).

Приближения Стокса и Озеена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса ([1], ч. II, гл. II, §§ 23, 25; [2], гл. VIII, § 20; [4], § 20).

Ламинарный пограничный слой ([2], гл. VIII, § 23; [10], гл. VII, § 1). Задача Блазиуса ([2], гл. VIII, § 24; [10], гл. VII, § 5). Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя ([5], § 89). Явление отрыва пограничного слоя ([5], § 86; [4], §§ 39, 40; [10], гл. VII, § 2). Устойчивость пограничного слоя ([4], § 41; [10], гл. XVI, §§ 2, 3). Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя ([4\*], гл. VI, § 2; [5] §§ 114-116; [10], гл. XII, §§ 1, 4).

Турбулентность ([5], § 95). Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса ([2], гл. VIII, § 22). Турбулентный перенос тепла и вещества ([5], §§ 97, 98). Полуэмпирические теории турбулентности ([5], § 98; [10], гл. XIX, §§ 2-4; ([9], гл. III, § 4).). Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон ([5], § 120; [10], гл. XIX, § 5). Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности ([5\*]).

Свободная и вынужденная конвекция ([6\*], гл. II, § 5; ([9], гл. V, §§ 16, 18).). Приближение Буссинеска ([6\*], гл. I, § 1). Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. ([6\*], гл. II, § 5). Понятие о странном аттракторе ([4], §§ 30, 31).

Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики ([4\*], гл. I, § 1, гл. II, § 1). Неуставившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений ([4\*], гл. VIII, § 8).

## **9. Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика**

Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука ([4], §§ 64-68; [2], гл. VIII, § 17, [11], гл. IV, §§ 12-13).

Запаздывающие потенциалы. Эффект Доплера. Конус Маха ([2], гл. VIII, § 17; [4], § 68). Уравнения газовой динамики. Характеристики. ([1], ч. II, гл. I, § 4; [6], гл. II, §§ 3, 4; [3\*], § 25).

Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лаваля ([2], гл. VIII, § 6; [2\*], гл. IV, § 1).

Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами ([3], гл. IV, § 1). Автомодельные движения и классы соответствующих задач ([3], гл. IV, § 1-3). Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе ([3], гл. IV, §§ 1, 6, 11, 12; [6], гл. II, §§ 8, 10, 16).

Волны Римана. Эффект опрокидывания волн ([2], гл. VIII, § 18; [6], гл. II, § 7). Адиабата Гюгонио ([4], § 85). Теорема Цемплена ([4], §§ 86, 87). Эволюционные и неэволюционные разрывы ([4], § 88; [6], гл. II, § 9; [3\*], § 25).

Теория волн детонации и горения ([4], §§ 128-131; [3\*], § 25). Правило Жуге и его обоснование ([4], § 130).

Задача о структуре сильного разрыва ([1], ч. II, гл. II, § 19; [4], § 93; [3\*], § 25).

Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва ([4], § 100).

Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Метод характеристик ([6], гл. III, § 7, 8). Течение Прандтля-Майера ([6], гл. III, § 10). Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса. Понятие об обтекании тел газом с отошедшей ударной волной ([6], гл. III, §§ 14-16; [1], ч. II, гл. I, § 27).

Линейная теория обтекания тонких профилей и тел вращения ([4], §§ 123-125; [6], гл. III, §§ 18-20).

Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона ([4], § 126; [6], гл. III, §§ 22, 23).

## 10. Электромагнитные явления в жидкостях

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 ([2], гл. VI, § 4). Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды ([2], гл. VI, § 4; [7], гл. I, § 2; [3\*], § 35).

Уравнения магнитной гидродинамики ([2], гл. VI, § 6; [7] гл. I, § 4; [3\*], § 36). Условия вмороженности магнитного поля в среду ([2], гл. VI § 7; [7], гл. I, § 5). Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей ([2], гл. VI, §§ 1, 5).

## 11. Физическое подобие, моделирование

Система определяющих параметров для выделенного класса явлений ([3], гл. I, §§ 1, 7). Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей ([3], гл. I, §§ 2-4). П-теорема ([3], гл. I, § 6). Примеры приложений. Определение физического

подобия. Моделирование. Критерии подобия ([3], гл. II, § 6). Числа Эйлера, Маха, Фруда. Рейнольдса, Струхала, Прандтля ([5], §§ 77, 85, 109).

Основная литература <http://eqworld.ipmnet.ru>

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I, ч. II. М.: Физматгиз, 1963.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, т. II, изд. 5, М.: Наука, 1994.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике, изд. 10. М.: Наука, 1987.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Изд. 3. М.: Наука, 1986.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд. 5. Н.: Наука, 1978.
6. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988.
7. Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М.: Физматгиз, 1962.
8. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гос. изд.-во физ.-тех. лит-ры, 1955.
9. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. РХД, 2000.
10. Г. Шлихтинг. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
11. Нигматулин Р.И. Механика сплошной среды. Кинематика. Динамика. Статистическая динамика. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 640с. ISBN 978-5-9704-2898-6

Дополнительная литература

- 1\*. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. Изд. 3. М.: Наука, 1980.
- 2\*. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.
- 3\*. Галин Г.Я., Голубятников А.Н., Каменярж Я. А., Карликов В.П., Куликовский А.Г., Петров А.Г., Свешникова Е.И., Шикина И.С., Эглит М.Э. Механика сплошных сред в задачах. Т. 1, 2. М.: Московский лицей, 1996.
- 4\*. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. М.: Гостоптехиздат, 1963.
- 5\*. Липанов А.М., Кисаров Ю.Р., Ключников И.Г. Численный эксперимент в классической гидромеханике турбулентных потоков. Изд-во Ур. ОРАН, Екатеринбург, 2001 г.
- 6\*. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная неустойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972.
- 7\*. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.

## 5. Критерии оценки

<b>Отлично</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Все вопросы раскрыты полностью;</li> <li>– Обучающийся владеет основными теориями и глубоко понимает их содержание;</li> <li>– Имеет ясное представление связи теории и практики в рамках излагаемого материала;</li> <li>– Уверенно владеет необходимыми методами решения конкретных задач, может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами;</li> <li>– Ясно и четко дает основные определения. Владеет терминологическим и понятийным аппаратом;</li> <li>– Развернуто отвечает на дополнительные вопросы.</li> </ul>
<b>Хорошо</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Вопросы раскрыты по существу;</li> <li>– Обучающийся в целом владеет основными теориями и понимает их содержание;</li> <li>– Имеет общее представление о связи теории и практики в рамках излагаемого материала;</li> <li>– Владеет в целом необходимыми методами решения конкретных задач, может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами;</li> <li>– В достаточной мере владеет понятийным и терминологическим аппаратом;</li> <li>– Имеет затруднения при ответе на дополнительные вопросы.</li> </ul>
<b>Удовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Вопросы раскрыты, но не полностью;</li> <li>– Слабое понимание связи теории и практики;</li> <li>– Обучающийся может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, но имеет затруднения при решении некоторых задач;</li> <li>– Обучающийся не демонстрирует уверенного владения понятийным и терминологическим аппаратом;</li> <li>– Дополнительные вопросы вызывают затруднение.</li> </ul>
<b>Неудовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Большая часть вопросов не раскрыта;</li> <li>– Обучающийся не может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, не может применить теорию при решении конкретных задач;</li> <li>– Нет ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul>

