

**Приложение 6**  
**УТВЕРЖДЕНО**  
**приказом ФИЦ КазНЦ РАН**  
**22.04.2019 № 17-А**

Разработано и рекомендовано к утверждению  
Ученым советом - ИММ  
обособленного структурного подразделения  
ФИЦ КазНЦ РАН  
14 марта 2019 г., протокол № 3

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Механика жидкости, газа и плазмы»**

Уровень высшего образования  
Подготовка кадров высшей квалификации  
Направление подготовки

**01.06.01 МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА**

Направленность подготовки:

01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника:

Исследователь. Преподаватель-исследователь

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Содержание дисциплины.
5. Учебно-тематический план занятий
6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, критерии оценки.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

## **1. ВИДЫ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СПОСОБ И ФОРМЫ ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ, ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ**

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия - 1 зачетная единицы труда (36 часов), самостоятельная работа – 9 зачетных единиц труда (324 часа), всего – 10 зачетных единиц труда (360 часов).

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинары, консультации.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

Формой итогового контроля является зачет.

Формой промежуточной аттестации является кандидатский экзамен.

## **2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ**

В результате освоения дисциплины выпускник должен обладать следующими компетенциями:

### **2.1 Универсальные компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- 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);
- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4).

### **2.2 Обще-профессиональные 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).

### 2.3 Профессиональные компетенции:

- способность собирать и анализировать мировые научные знания о фундаментальных основах современной механики и формулировать направления самостоятельных исследований (ПК-1);
- владение основами современных методов экспериментальной механики (ПК-2);
- способность обобщать и анализировать полученные результаты и представлять их в виде научных публикаций (ПК-3).

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Механика жидкости, газа и плазмы» является обязательной и включена в Блок № 1 программы аспирантуры, относящийся к вариативной части основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика. Обучение проводится на втором курсе.

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общих профессиональных курсов «Механика жидкости, газа», «Механика многофазных сред» в рамках магистерской программы образования или специалитета. Владением данными знаниями и умениями устанавливается в ходе вступительных испытаний в аспирантуру.

Аспирант должен обладать навыками самостоятельного освоения изучаемого материала.

В результате освоения дисциплины аспирант должен получить дополнительные знания, умения и навыки. Аспирант должен:

#### ***Знать:***

- фундаментальные законы и теории классической и современной механики жидкости, газа и плазмы, в т.ч. механики многофазных сред, современные вычислительные методы;
- методы физического и математического моделирования гидроаэротепловых и других процессов, протекающих в сплошных средах;
- основы проведения лабораторных и вычислительных экспериментов с применением ЭВМ.

#### ***Владеть:***

- навыками сбора, обработки и систематизации научно-технической информации по теме исследований;
- глубокими специальными знаниями, на основе которых осуществляется критический анализ и оценка идей, синтезируются новые идеи, в т.ч. инновационные;

- навыками построения моделей физических процессов, формулировки соответствующих задач;
- практикой решения теоретических и прикладных задач в области механики жидкости, газа и плазмы.

**Уметь:**

- критически анализировать научно-техническую литературу с целью самостоятельного выбора направлений исследований, самостоятельно составлять планы исследований, участвовать в научных дискуссиях;
- использовать свои знания для решения фундаментальных, прикладных и технических задач;
- выделять минимально достаточную систему определяющих параметров при моделировании реальных физических процессов;
- делать качественные выводы при анализе асимптотических режимов в изучаемых проблемах;
- делать корректные выводы из сопоставления теоретических и экспериментальных результатов;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- пользоваться адекватным математическим аппаратом при решении практических задач;
- эффективно использовать IT-технологии и компьютерную технику;
- определять необходимые методы и средства, материальные и нематериальные(кадровые) ресурсы для выполнения научных исследований.

Дисциплина направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1	<u>Введение. Основные положения.</u> Понятие сплошной среды. Методы исследований в механике жидкости, газа и плазмы.
4.2	<u>Общие сведения о кинематике сплошных сред. Закон сохранения масс.</u> Переменные Лагранжа и Эйлера. Индивидуальная и местная производная. Траектории, линии тока, вихревые линии и трубки. Тензор скоростей деформации. Распределение массы в сплошной среде. Дифференциальная и интегральная форма записи закона сохранения масс. Уравнение неразрывности для многокомпонентной смеси.
4.3	<u>Закон сохранения количества движения и моментов количества движения.</u> Силы внутренние и внешние, массовые и поверхностные. Вектор поверхностных сил. Тензор напряжений. Интегральная и дифференциальная форма записи уравнений сохранения.

4.4	<u>Общий закон сохранения энергии в механике сплошных сред.</u> Понятия и параметры состояния, процессов и циклов. Внутренняя, полная энергия. Дифференциальная запись уравнений энергии и притока тепла.
4.5	<u>Замкнутые системы уравнений механики сплошных сред.</u> Взаимосвязь лагранжевого и эйлерового представления уравнений механики сплошной среды. Начальные условия, условия на границе тел и поверхностях разрывов. Физическое подобие, критерии подобия.
4.6	<u>Гидростатика.</u> Уравнения равновесия, общие формулы для главного вектора и моменты сил давлений.
4.7	<u>Простейшие модели движения жидких сред.</u> Движение идеальной несжимаемой жидкости и газа. Идеальная, ньютоновская жидкость. Несжимаемая и сжимаемая жидкости. Интегралы уравнений гидромеханики. Обобщенные одномерные потоки. Плоское безвихревое движение жидкости и газа. Пространственное безвихревое движение жидкости и газа. Вихревое движение идеальной жидкости.
4.8	<u>Основные положения о движении вязкой несжимаемой жидкости и газа.</u> Завихренность и диссипация энергии. Точные решения систем уравнений вязкой жидкости. Подобие течений вязкой жидкости.
4.9	<u>Акустика.</u> Звуковые волны. Распространение звука в движущейся среде. Волны. Рассеяние и поглощение звука, влияние примесей. Акустические течения.
4.10	<u>Движение вязкой несжимаемой жидкости и газа при больших числах Рейнольдса.</u> Ламинарные и турбулентные режимы течения. Пограничные слои. Неустойчивость ламинарных течений. Уравнения Рейнольдса осредненного турбулентного движения. Модели замыкания уравнений Рейнольдса, турбулентной вязкости. Турбулентные пограничные слои. Методы расчета турбулентных течений.
4.11	<u>Движение вязкой жидкости при небольших числах Рейнольдса.</u> Уравнение Стокса и Озеена. Течение вязкой жидкости в каналах и трубах. Обтекание шара. Гидродинамическая теория смазки.
4.12	<u>Гидромеханика неньютоновских жидкостей.</u> Реологические уравнения состояния неньютоновских жидкостей. Классификация течений (вискозиметрические, течения растяжения, периодические течения, вторичные и наложенные течения, турбулентные течения). Обтекание погруженных тел, течения в каналах и трубах.
4.13	<u>Магнитная гидродинамика. Плазма.</u> Электрические свойства жидкостей. Электрические и магнитные поля. Уравнения магнитной гидродинамики, начальные и граничные условия. Примеры решения задач магнитной гидродинамики. Основные понятия физики плазмы. Перенос в плазме. Гидродинамические модели потоков плазмы. Плазменные аппараты и технологии.

4.14	<u>Механика сплошных гетерогенных сред.</u> Основные допущения. Теория многоскоростного континуума. Осреднение в механике гетерогенных смесей. Уравнения механики монодисперсной смеси жидкости с твердыми частицами, каплями, пузырьками. Движение газо- и парожидкостных потоков в каналах.
4.15	<u>Волновая динамика пузырьковых жидкостей.</u> Колебания, пульсации газовых и паровых пузырьков. Распространение возмущений, ударные волны в жидкости с пузырьками. Особенности течения вскипающей жидкости. Вибрационное воздействие на пузырьковую жидкость.
4.16	<u>Фильтрация жидкости и газов в пористых средах.</u> Физико-механические характеристики пористых сред и пластовых флюидов (вода, нефть, газ). Основные понятия и уравнения двухфазной фильтрации. Обобщенный закон Дарси. Границы применимости закона Дарси. Капиллярное равновесие в пористой среде. Задача Баклея-Левретта. Фильтрация в неоднородных, анизотропных, трещиновато-пористых породах. Фильтрация смеси двух жидкостей. Вытеснение нефти раствором активной примеси. Понятие крупномасштабного приближения. Основные способы увеличения нефтеотдачи пластов.

## 5. УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Аудиторные занятия	Самост. работа	Всего часов
4.1	Введение. Основные положения.	1	9	10
4.2	Общие сведения о кинематике сплошных сред. Закон сохранения масс.	1	9	10
4.3	Закон сохранения количества движения и моментов количества движения.	2	18	20
4.4	Общий закон сохранения энергии в механике сплошных сред.	2	18	20
4.5	Замкнутые системы уравнений механики сплошных сред.	2	18	20
4.6	Гидростатика.	1	9	10
4.7	Простейшие модели движения жидких сред.	2	18	20
4.8	Основные положения о движении вязкой несжимаемой жидкости и газа.	3	27	30
4.9	Акустика.	3	27	30
4.10	Движение вязкой несжимаемой жидкости и газа при больших числах Рейнольдса.	3	27	30

4.11	Движение вязкой жидкости при небольших числах Рейнольдса.	1	9	10
4.12	Гидромеханика неньютоновских жидкостей.	3	27	30
4.13	Магнитная гидродинамика. Плазма.	3	27	30
4.14	Механика сплошных гетерогенных сред.	3	27	30
4.15	Волновая динамика пузырьковых жидкостей.	3	27	30
4.16	Фильтрация жидкости и газов в пористых средах.	3	27	30
<b>ИТОГО</b>		<b>36</b>	<b>324</b>	<b>360</b>

## **6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ**

**6.1. Текущий контроль:** текущий контроль освоения дисциплины проводится регулярно, начиная со второй недели обучения, в форме контроля посещаемости, устного опроса по изучаемой теме. Формой итогового контроля по дисциплине является зачет. Зачет проводится по вопросам.

### ***Вопросы к итоговому контролю***

1. Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические метода описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.
2. Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований.
3. Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.
4. Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и Эйлеровы координаты. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.
5. Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.
6. Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещение, траектория, скорость, линии тока, критические точки, ускорение, тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости, циркуляция скорости, установившееся и неустойчивое движение среды.
7. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости.
8. Многокомпонентные смеси. Диффузия. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.
9. Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы.

10. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды.
11. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды.
12. Работа внутренних, поверхностных сил. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах.
13. Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия.
14. Уравнение притока тепла. Вектор потока тепла. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла. Закон теплопроводности Фурье.
15. Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др.
16. Обратимые и необратимые процессы. Совершенный газ. Второй закон термодинамики.
17. Энтропия и абсолютная температура. Некомпенсированное тепло и производство энтропии.
18. Уравнения состояния.
19. Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.
20. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа.
21. Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса. Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.
22. Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости.
23. Применение интегральных соотношений к конечным объемам среды при установившемся движении.
24. Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности.
25. Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле. Тангенциальные разрывы и ударные волны.
26. Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферферы.
27. Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. Свойства гармонических функций. Многозначность потенциала в многосвязных областях. Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости. Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела. Движение сферы в идеальной жидкости.
28. Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости. Основы теории присоединенных масс. Парадокс Даламбера.
29. Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока.
30. Применение аналитических функций для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики.

31. Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля.
32. Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй. Схемы Кирхгофа, Эфроса и др.
33. Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн. Перенос энергии прогрессивными волнами.
34. Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля.
35. Течение вязкой жидкости в диффузоре. Диффузия вихря.
36. Приближения Стокса и Озеена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса.
37. Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя.
38. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя.
39. Турбулентность. Опыт Рейнольдса Уравнения Рейнольдса.
40. Турбулентный перенос тепла и вещества. Полуэмпирические теории турбулентности.
41. Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон.
42. Численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности.
43. Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска.
44. Понятие о странном аттракторе.
45. Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси.
46. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики.
47. Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений.
48. Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука.
49. Запаздывающие потенциалы. Эффект Доплера. Конус Маха.
50. Уравнения газовой динамики. Характеристики.
51. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении.
52. Элементарная теория сопла Лаваля.
53. Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами.
54. Автомодельные движения и классы соответствующих задач.
55. Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе.
56. Волны Римана. Эффект опрокидывания волн.
57. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемплена.
58. Эволюционные и неэволюционные разрывы.
59. Теория волн детонации и горения.
60. Правило Жуге и его обоснование.
61. Задача о структуре сильного разрыва.
62. Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва.
63. Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Метод характеристик.
64. Течение Прандтля-Майера.

65. Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса.
66. Линейная теория обтекания тонких профилей и тел вращения.
67. Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона.
68. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте.
69. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца.
70. Закон сохранения полного заряда.
71. Закон Ома. Среды с идеальной проводимостью.
72. Вектор и уравнение Умова—Пойнтинга. Джоулево тепло.
73. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды.
74. Уравнения магнитной гидродинамики.
75. Условия вмороженности магнитного поля в среду.
76. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.
77. Система определяющих параметров для выделенного класса явлений. Основные и производные единицы измерения.
78. Формула размерностей. П-теорема. Примеры приложений.
79. Определение физического подобия. Моделирование.
80. Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда, Рейнольдса, Струхала, Прандтля.

## 6.2. Критерии оценки итогового контроля:

«зачтено»	Вопрос раскрыт, приведены конкретные примеры, описаны решения задач гидроаэромеханики
«не зачтено»	Вопрос не раскрыт или раскрыт частично, не хватает ключевых примеров, не описаны методы решения задач гидроаэромеханики

**При отсутствии оценки «зачтено» обучающийся не допускается к промежуточной аттестации**

## 6.3. Промежуточная аттестация: кандидатский экзамен по утвержденной программе (для обязательных дисциплин)

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

#### 6.4. Критерии оценки промежуточной аттестации

<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>

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 7.1. Основная литература

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч.1, II. М.:Физматгиз, 1963.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.1, II. 5-е изд. М.: Наука, 1994.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 10-е изд. М.: Наука, 1987.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. 3-е изд. М.: Наука, 1986.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 5-е изд. М.: Наука, 1978.
6. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988.
7. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гос. изд-во физ.-тех. лит-ры, 1955.
8. Прандтль Л., Титъенс О. Гидро- и аэромеханика, том 1: Равновесие, движение жидкостей без трения, Гостехтеориздат, 1933
9. Прандтль Л., Титъенс О. Гидро- и аэромеханика, том 2: Движение жидкостей с трением и технические приложения, Гостехтеориздат, 1935
10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
11. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 464с.; Ч.2. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 360 с.
12. Нигматулин Р.И. Основы механики сплошных сред. Курс лекций для студентов МГУ. 2010.
13. Губайдуллин Д.А. Динамика двухфазных парогасокапельных сред. Казань: Изд-во Казан. математического общества, 1998. 154 с.
14. Нейланд В.Я., Боголепов В.В., Дудин Г.Н., Липатов И.И. Асимптотическая теория сверхзвуковых течений вязкого газа. М.: Физматлит, 2003
15. Шамин Р.В. Динамика идеальной жидкости со свободной поверхностью в конформных переменных. // Современная математика. Фундаментальные направления. Том 28 (2008). С. 3-144.
16. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – 296 с.
17. Сальянов Ф.А. Основы физики низкотемпературной плазмы, плазменных аппаратов и технологий. М.: Наука – Физматлит, 1997. – 240 с.
18. Ахметов В.К., Шкадов В.Я. Численное моделирование вязких вихревых течений для технических приложений. М: АСВ, 2009.
19. Хейфиц Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. М: Химия, 1982.

### 7.2. Дополнительная литература

1. Бриджмен П. Анализ размерностей (2-е издание). Ижевск: РХД, 2001
2. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М.-Л.: ГИТТЛ, 1951

3. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен. М.: Издательство "МИР", 1964. 214 с. <http://biblioclub.ru/>
4. Липанов А.М., Кисаров Ю.Р., Ключников И.Г. Численный эксперимент в классической гидромеханике турбулентных потоков. Екатеринбург: изд-во Ур. ОРАН, 2001.
5. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная неустойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972.
6. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 538с.
7. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977. – 664с.
8. Вайнберг А.М. Математическое моделирование процессов переноса. Решение нелинейных краевых задач. Москва-Иерусалим, 2009
9. Гильманов А.Н. Методы адаптивных сеток в задачах газовой динамики. М.: Физматлит, 2000
10. Еремеев В.А., Зубов Л.М. Основы механики вязкоупругой микрополярной жидкости. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2009
11. Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Математические модели термомеханики. М.: Физматлит, 2002
12. Ильгамов М.А., Гильманов А.Н. Неотражающие условия на границах расчетной области. М.: Физматлит, 2003

### 7.3. Электронные ресурсы

<http://eqworld.ipmnet.ru>

## 8. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия и консультации, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче кандидатских экзаменов проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки и/или конференц-залы), оборудованных мебелью (столы, стулья), классной доской (меловой), компьютером, проектором для демонстрации презентаций.