

**Приложение 7**

**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**

**«Гидродинамика дисперсной частицы в несущей среде»**

Уровень высшего образования

Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки

**01.06.01 МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА**

Направленность подготовки:

Механика жидкости, газа и плазмы (01.02.05)

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 – 0,5 зачетных единиц труда (18 часов), самостоятельная работа – 2 зачетные единицы труда (72 часа), всего – 2,5 зачетных единиц труда (90 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.

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

В результате освоения дисциплины выпускник должен обладать следующими компетенциями:

### **2.1 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).

### **2.2 Обще-профессиональными компетенциями:**

- 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 Профессиональными компетенциями:**

- способность собирать и анализировать мировые научные знания о фундаментальных основах современной механики жидкости, газа и плазмы и формулировать направления самостоятельных исследований (ПК-1);
- владение основами современных методов экспериментальной механики жидкости, газа и плазмы (ПК-2).

## **3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина «Гидродинамика дисперсной частицы в несущей среде» является дисциплиной по выбору 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. Дисциплина направлена на подготовку к кандидатскому экзамену по дисциплине «Механика жидкости, газа и плазмы».

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общих профессиональных курсов 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 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.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**4.1. Введение.** Основные силы, действующие на включение. Силы в однородном волновом поле скорости флюида. Режимы обтекания включения. Стоксов режим. Нестоксов режим. Система уравнений динамики включения. Исследование дрейфа включения на основе системы уравнений динамики. Прямое моделирование дрейфа включения.

**4.2. Раздел 1.** Динамика включения под действием силы Стокса и гравитации. Разгон включения в однородном потоке. Динамика осаждения и всплытия включения под действием сил Стокса, тяжести и Архимеда. Колебания включения под действием силы Стокса в однородном синусоидальном поле. Численное изучение стоковского дрейфа в стоячей волне. Аналитическое изучение стоковского дрейфа включения в стоячей волне. Метод Боголюбова-Митропольского и метод Ван-дер-Поля осреднения дифференциальных уравнений, описывающих механические системы. Левитация и затопление включения в вертикальной стоячей волне. Динамика включения под действием силы Стокса в бегущей волне.

**4.3. Раздел 2.** Динамика несжимаемого включения в несжимаемом флюиде с учетом сил Стокса, Архимеда, присоединенных масс и гравитации. Инерционный режим обтекания включения. Суперпозиция стоковского и инерционного виброускорений. Дрейф в стоячей волне без учета сжимаемости и сил поверхностного натяжения.

**4.4. Раздел 3.** Динамика сжимаемого включения в сжимаемом флюиде с учетом сил Стокса, Архимеда, сил присоединенных масс и сил поверхностного натяжения. Колебания включения в однородном синусоидальном волновом поле. Дрейф включения в поле стоячей волны.

**4.5. Раздел 4.** Стоксов режим с учетом силы Бассе-Буссинеска. Разгон включения в вязком флюиде. Динамика включения при больших числах Струхалия.

**4.6. Раздел 5.** Нестоксов режим обтекания включения. Разгон включения в однородном потоке при больших числах Рейнольдса. Осаждение включения при больших числах Рейнольдса. Уравнения динамики включения Дрейф в однородном периодическом поле. Влияние чисел Рейнольдса и Струхалия на направление волновой силы, действующей на включение в стоячей синусоидальной волне.

## 5. УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Аудиторные занятия	Самост. работа	Всего часов
4.1.	Введение	3	12	15
4.2.	Раздел 1	3	12	15
4.3.	Раздел 2	3	12	15
4.4.	Раздел 3	3	12	15
4.5.	Раздел 4	3	12	15
4.6.	Раздел 5	3	12	15
ИТОГО		18	72	90

## 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. Что называют дисперсной частицей?
2. Что называют несущей средой?
3. Перечислить основные гидродинамические силы, действующие на дисперсную частицу в несущей среде.
4. Сила вязкого сопротивления, действующая на сферическую дисперсную частицу в потоке. Записать закон Стокса для силы сопротивления этой частицы.
5. Записать формулу для силы вязкого сопротивления при больших скоростях (закон Ньютона).
6. Что выражает относительное число Рейнольдса для дисперсной частицы?
7. Как называется режим обтекания сферы при малых числах Рейнольдса?
8. При каких числах Рейнольдса сила Стокса доминирует над прочими гидродинамическими силами?
9. Как зависит сила вязкого сопротивления сферы от относительной скорости флюида при малых и больших числах Рейнольдса?
10. Как зависит сила вязкого сопротивления сферы от радиуса частицы при малых и больших числах Рейнольдса?
11. При каком движении дисперсной частицы возникает сила присоединенных масс? Когда она отсутствует? На какую величину эта сила увеличивает кажущуюся массу дисперсной частицы?

12. Как зависит сила присоединенных масс от относительной скорости и ускорения частицы?
13. Формула статической силы Архимеда, действующая на дисперсную частицу. Как эта сила зависит от скорости флюида?
14. Формула динамической силы Архимеда, действующая на дисперсную частицу. Зависит ли эта сила от скорости или ускорения флюида?
15. Как статическая и динамические силы Архимеда зависят от радиуса частицы?
16. Физический смысл силы Бассэ. Что определяет величину силы Бассэ, относительная скорость или ускорение частицы? Когда эта сила велика, а когда мала. Можно ли вводить силу Бассэ для идеальной жидкости? Как эта сила зависит от радиуса частицы?
17. Что такое сила Магнуса? От чего она зависит: от радиуса сферы и скорости ее вращения, от плотности и относительной скорости флюида?
18. Какие силы доминируют для частиц большого радиуса?
19. Записать уравнения движения дисперсной частицы с учетом силы Стокса и получить уравнение Ланжевена.
20. Проинтегрировать уравнение Ланжевена и получить закон движения дисперсной частицы.
21. Записать формулу для времени релаксации дисперсной частицы.
22. Тормозной путь частицы и его связь со временем релаксации.
23. Физический смысл времени релаксации. Как оно зависит от плотности и радиуса частицы, вязкости флюида?
24. Записать уравнения осаждения частицы под действием веса частицы, статической силы Архимеда и силы Стокса. Проинтегрировать это уравнение и получить предельную скорости осаждения.
25. Объяснить теорию вискозиметра.
26. Записать уравнения осаждения частицы под действием веса частицы и силы Ньютона.
27. Проинтегрировать уравнение и получить предельную скорость осаждения.

## 6.2. Критерии оценки итогового контроля:

«зачтено»	Вопрос раскрыт, основные идеи, алгоритмы и подходы изложены.
«не зачтено»	Вопрос не раскрыт или раскрыт частично, основные идеи, алгоритмы и подходы не изложены

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

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 7.1. Литература

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.І. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 464с.; Ч.ІІ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 360с. <http://eqworld.ipmnet.ru>
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003.-840с. <http://eqworld.ipmnet.ru>
3. Ламб Г. Гидродинамика. М.-Л.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1947
4. Лайтхилл М. Дж. Нелинейная теория распространения волн. М.: Мир, 1970 <http://eqworld.ipmnet.ru>
5. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний (2-е изд.). М.: Наука, 1974 <http://eqworld.ipmnet.ru>
6. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений, том 1 (2-е изд.). М.: Физматлит, 1962 <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.