

**Приложение 9**

**УТВЕРЖДЕНО**

**приказом ФИЦ КазНЦ РАН**

**22.04.2019 № 17-А**

Разработано и рекомендовано к утверждению  
Ученым советом ИЭПТ - структурного  
подразделения ФИЦ КазНЦ РАН  
12 апреля 2019 г., протокол № 3

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Турбулентные течения»**

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. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, критерии оценки.
6. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
7. 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, лабораторные работы, 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 «Турбулентные течения» 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 физики, математического анализа, теоретической газовой динамики, технической термодинамики и теории математического моделирования 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:***

- основные положения теории турбулентных течений;
- методы математического описания турбулентных течений;
- общие закономерности и индивидуальные особенности изучаемого многообразия типов турбулентных течений, основные закономерности взаимосвязи параметров для каждого типа турбулентных течений;
- современные методы экспериментального исследования турбулентных течений и принципы действия используемого для этих целей измерительного оборудования

***Уметь:***

- ставить цели экспериментальных или теоретических исследований сложных турбулентных течений;
- определять наиболее рациональные подходы к изучению турбулентных течений;
- планировать проведение научных исследований;
- при выполнении экспериментов выбирать наиболее приемлемые средства измерений и соответствующее измерительное оборудование;
- определять метрологические характеристики разработанных систем с учетом характера реализуемых ими измерений.

***Владеть:***

- работы с современным экспериментальным оборудованием для проведения измерения локальных и распределенных характеристик турбулентных течений;
- сбора и статистической обработки полученной экспериментальной информации.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Лекционные занятия

№ п/п	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость, час.
1	Раздел 1. Подходы к математическому описанию движения жидкости и газа. Тема 1.1. Молекулярный, больцмановский и гидродинамический уровень. Тема 1.2. Дифференциальные уравнения движения идеальной и вязкой несжимаемой жидкости. Уравнения пограничного слоя.	2
2	Раздел 2. Проблемы моделирования турбулентных течений. Тема 2.1. Режимы течения жидкости. Ламинарно-турбулентный переход. Тема 2.2. Методы DNS, LES и RANS. Модели турбулентности.	2
3	Раздел 3. Турбулентные отрывные течения. Тема 3.1. Отрыв потока при внешнем обтекании тел. Тема 3.2. Внутренние отрывные течения. Течения в соплах и диффузорах.	2
4	Раздел 4. Турбулентные струйные течения.	1
5	Раздел 5. Нестационарные турбулентные течения.	1
6	Раздел 6. Современные экспериментальные методы исследования турбулентных течений	1
<b>ИТОГО</b>		<b>9</b>

##### 4.1.2. Лабораторные работы

№ п/п	Раздел, тема дисциплины	Наименование темы практического и семинарского занятия	Трудоемкость, час.
1	Раздел 3. Тема 3.1.	Принцип работы и методика измерения расхода воздуха вихревым расходомером	3
2	Раздел 5	Дымовая визуализация пульсирующих потоков	2
3	Раздел 6	Основы термоанемометрических измерений параметров турбулентных течений	4
<b>ИТОГО</b>			<b>9</b>

### 4.1.3. Самостоятельная работа

№ п/п	Перечень заданий для самостоятельной работы	Трудоемкость
		Часы
1	Описание современного состояния проблемы по теме	10
2	Выдвижение гипотезы и выбор пути решения	3
3	Разработка плана научного эксперимента	6
4	Разработка экспериментальной установки	9
5	Проведение тестовых экспериментов и отладка системы измерений	9
6	Выполнение экспериментальных исследований	11
7	Обработка экспериментальной информации, описание физических механизмов исследуемых процессов	16
8	Оформление аттестационной работы	4
9	Подготовка презентации доклада	4
<b>ИТОГО</b>		<b>72</b>

## 5. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

**5.1. 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 представление доклада по выполненной самостоятельной работе.

### *Темы для самостоятельной работы*

1. Ламинарно-турбулентный переход в отрывных течениях.
2. Процесс вихреобразования при поперечном обтекании тел пульсирующим потоком

### 5.2. Критерии оценки итогового контроля:

«зачтено»	Самостоятельная работа выполнена, презентация представлена.
«не зачтено»	Самостоятельная работа не выполнена и/или презентация не представлена.

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

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### *6.1. Литература (жирным шрифтом выделена основная литература)*

1. Tropea C., Yarin A.L., Foss J.F. ets. Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.- 1531 p.
2. **Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. – Ч.1 М.: Наука. 1991. 600 с., Ч.2. – 304 с.**
3. **Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. М.: ЭКОЛИТ. 2011. – 700 с.**
4. Аникеев А.А., Молчанов А.М., Янышев Д.С. Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2010. – 152 с.
5. **Бойко А.В., Грек Г.Р., Довгаль А.В., Козлов В.В. Возникновение турбулентности в пристенных течениях. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН. 1999. – 328 с.**
6. **Виноградов Б.С. Прикладная газовая динамика: уч. пособие. М.: ЭКОЛИТ. 2011.– 256 с.**
7. Гиневский А.С., Власов Е.В., Каравосов Р.К. Акустическое управление турбулентными струями. М.: Физматлит. 2001. 240 с.
8. **Головкин М.А., Головкин В.А., Калявкин В.М. Вопросы вихревой гидродинамики. М. Физматлит. 2009. – 264 с.**
9. **Занин Б.Ю., Козлов В.В. Вихревые структуры в дозвуковых отрывных течениях: Учеб. пособие. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т. – 2011. 116 с.**
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: т. IV. Гидродинамика. – М.: Наука, 1988, 736 с.
11. **Репик Е.У., Соседко Ю.П. Турбулентный пограничный слой. Методы и результаты экспериментальных исследований. – М.: Физматлит. 2007. 312 с.**
12. Фрик П.Г. Турбулентность: подходы и модели. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003. – 292 с.
13. **Юн А.А. Теория и практика моделирования турбулентных течений. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2009. – 272 с.**

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

### 7.1. Лекционные занятия.

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.

## **7.2. Лабораторные занятия, самостоятельная работа**

Учебно-научная лаборатория, оснащенная следующим комплектами термоанемометрической аппаратуры DISA 55M (4 комплекта) и ИРВИС ТА5.2 (2 комплекта) с набором нитяных термоанемометрических датчиков, 3 аэродинамических трубы со сменными рабочими участками и устройством создания пульсаций потока, установка для градуировки термоанемометрических датчиков на базе камеры Эйфеля и вакуумного насоса SV1040С, измерителя мгновенных векторных полей скорости «ПОЛИС» («ПОлевой Измеритель Скорости»), разработанный Институтом теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН и ООО «Сигма технологии», в котором реализован метод PIV (Particle Image Velocimetry), в комплекте с генератором аэрозолей Safex, скоростная видеокамера Fastec HiSpec с объективом Navitar.

Учебно-научная лаборатория, оснащенная оборудованием для градуировки и поверки расходомеров-счетчиков газа и проведения научных исследований. В состав оборудования входит Установка поверочная газодинамическая УПГ-10 с набором рабочих участков, система подачи воздуха высокого давления и устройство для создания пульсаций потока.