

# Основы теории турбулентности

Автор: проф. Вараксин А.Ю.

## Содержание дисциплины.

| № п/п | Раздел дисциплины  | Лекции, ч. | Семинары, ч. | Лабораторные работы, ч. | Литература |
|-------|--|------------|--------------|-------------------------|------------|
|       |  | 38         | -            | -                       |            |
| 1.    | Понятие о турбулентных течениях  | 2          |              |                         | [1-3]      |
| 2.    | Основы математического моделирования турбулентных течений                            | 2          |              |                         | [1-3]      |
| 3.    | Модели турбулентных течений  | 2          |              |                         | [1-3]      |
| 4.    | Основы физического моделирования турбулентных течений                                | 2          |              |                         | [1-3]      |
| 5.    | Понятие о многофазных турбулентных течениях  | 2          |              |                         | [4,5]      |
| 6.    | Классификация гетерогенных турбулентных течений                                      | 2          |              |                         | [4,5]      |
| 7.    | Основы математического моделирования двухфазных турбулентных течений                 | 8          |              |                         | [4,5]      |
| 8.    | Двухфазные течения в трубах (каналах)  | 4          |              |                         | [4,5]      |
| 9.    | Обтекание тел потоками с частицами   | 4          |              |                         | [4,5]      |
| 10.   | Основы физического моделирования двухфазных турбулентных течений                     | 6          |              |                         | [4,5]      |
| 11.   | Методы генерации нестационарных свободных вихрей и их динамика                       | 2          |              |                         | [6]        |
| 12.   | Управление поведением нестационарных свободных вихрей и защита промышленных объектов | 2          |              |                         | [6]        |

## **Содержание:**

### **1. Понятие о турбулентных течениях**

Что такое турбулентность? Методы описания структуры турбулентных течений. Уравнение Навье – Стокса. Диссипация энергии в вязкой жидкости. Качественная схема развития турбулентности. Масштабная инвариантность. Спектр турбулентных пульсаций. Оценка масштабов турбулентности. Механизм растяжения вихревых структур.

### **2. Основы математического моделирования турбулентных течений**

Методы моделирования турбулентных течений. Прямое численное моделирование. Метод с выделением крупных вихрей. Методы статистических моментов. Статистические моменты и кумулянты.

### **3. Модели турбулентных течений**

Уравнение Рейнольдса. Уравнения для моментов. Обменный механизм. Тензор скорости диссипации. Турбулентная диффузия. Стратегия замыкания высших моментов. Алгебраические модели тройных корреляций. Модель турбулентности Рейнольдсовых напряжений.  $K - \varepsilon$  модель турбулентности.  $K - L$  модель турбулентности. Модель пути смешения Прандтля. Условия реализуемости. Модели турбулентности третьего порядка. Уравнения для кумулянтов четвертого порядка. Связь между переносом тепла и переносом импульса. Математическое описание процессов теплопереноса. Модель турбулентного переноса скаляра. Модели замыкания.

### **4. Основы физического моделирования турбулентных течений**

Методы экспериментального исследования структуры турбулентных течений. Термоанемометрия. Лазерная доплеровская анемометрия. Статистическая обработка экспериментальных данных.

### **5. Понятие о многофазных турбулентных течениях**

Что такое многофазные течения? Многофазные течения в природе и технике. Специфические особенности математического и физического моделирования гетерогенных потоков. Два основных класса задач изучения гетерогенных течений. Основные характеристики гетерогенных потоков.

### **6. Классификация гетерогенных турбулентных течений**

Времена динамической и тепловой релаксации частиц. Массовая, объемная и счетная концентрации частиц. Столкновения частиц между собой. Столкновения частиц со стенками канала. Числа Стокса в осредненном, крупномасштабном и мелкомасштабном пульсационных движениях. Столкновительные числа Стокса. Классификация гетерогенных турбулентных потоков.

### **7. Основы математического моделирования двухфазных турбулентных течений**

Математическое моделирование турбулентных течений газа с частицами. Лагранжев подход: преимущества и ограничения. Эйлеров подход: преимущества и ограничения. Стратегия построения обобщенной компьютерной модели двухфазных потоков.

### **8. Двухфазные течения в трубах (каналах)**

Течения газа с частицами в каналах. Распределения осредненных и пульсационных скоростей газа и частиц. Диссипация энергии турбулентности мелкими частицами. Генерация энергии турбулентности крупными частицами. Моделирование влияния частиц на турбулентную энергию газа.

### **9. Обтекание тел потоками с частицами**

Обтекание тел потоками с частицами. Течение с частицами в области критической точки тела. Течение с частицами в пограничном слое обтекаемого тела. Аэродинамическое сопротивление тел в потоках с частицами.

### **10. Основы физического моделирования двухфазных турбулентных течений**

Физическое моделирование течений газа с частицами. Особенности и задачи экспериментального изучения гетерогенных потоков. Методы цифровой трассерной визуализации и лазерной анемометрии. Особенности изучения поведения частиц в турбулентном потоке. Особенности изучения обратного влияния частиц на характеристики течения несущего газа.

### **11. Методы генерации нестационарных свободных вихрей и их динамика**

Понятие о нестационарных свободных вихрях. Методы генерации свободных концентрированных вихрей. Описание установки. Тепловые режимы. Интегральные параметры и динамика вихревых структур.

### **12. Управление поведением нестационарных свободных вихрей и защита промышленных объектов**

Формулирование задачи управления поведением нестационарных свободных вихрей. Краткие сведения о методах борьбы. Пассивные и активные методы защиты от природных вихрей. Новый пассивно-активный метод борьбы со смерчами. Физические основы метода и его преимущества. Верификация метода в лабораторных условиях.

### **Основная литература.**

1. Моделирование процессов переноса в турбулентных течениях. Учебное пособие / Б.Б.Илюшин; Новосиб. гос. ун-т. Часть I. 1999.
2. Турбулентность: модели и подходы. Курс лекций / П.Г.Фрик; Перм. гос. техн. ун-т. Часть I. 1998. 108 с.
3. Турбулентность: модели и подходы. Курс лекций / П.Г.Фрик; Перм. гос. техн. ун-т. Часть II. 1999. 136 с.
4. Вараксин А.Ю. Турбулентные течения газа с твердыми частицами. – М.: Физматлит. 2003. 192 с.
5. Вараксин А.Ю. Столкновения в потоках газа с твердыми частицами. – М.: Физматлит. 2008. 312 с.
6. Вараксин А.Ю., Ромаш М.Э., Копейцев В.Н. Торнадо. – М.: Физматлит. 2011. 344 с.

### **Дополнительная литература.**

7. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Гидродинамика. – М.: Физматлит, 2002.
8. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. – М.: Наука, 1987. Ч.1. 464 с.; Ч.2. 360 с.

9. Шрайбер А.А., Гавин Л.Б., Наумов В.А., Яценко В.П. Турбулентные течения газозвеси. – Киев: Наукова думка. 1987. 239 с.
10. Волков Э.П., Зайчик Л.И., Першуков В.А. Моделирование горения твердого топлива. – М.: Наука. 1994. 320 с.