

## Моделирование турбулентных течений Филиппов А.С.

Математическое моделирование: изучаются модели и энергия турбулентности, двухпараметрические модели, турбулентный перенос, пристеночная турбулентность. Численное моделирование: метод сеток, численное решение уравнения Навье-Стокса, модель турбулентности в CFD, последовательность решения задачи гидродинамики CFD-кодом (прямая труба, обратная ступенька, задачи конвекции).

№	Тема	Содержание
1	Турбулентность	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Общие сведения о турбулентных течениях.</li> <li>2. Осреднение уравнений переноса.</li> <li>3. Уравнения турбулентной кинетической энергии.</li> </ol>
2	Математические модели турбулентности	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Классификация RANS-моделей. Понятие о LES-моделях.</li> <li>2. Двухпараметрические модели турбулентности.</li> <li>3. Математическое и численное описание изотропной и пристеночной турбулентности.</li> <li>4. Турбулентная естественная конвекция в трубе и в ограниченном большом объеме.</li> </ol>
3	Моделирование турбулентных течений в вычислительной гидродинамике	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Представление решения уравнения на разностной сетке.</li> <li>2. Последовательность и средства численного решения задачи вычислительной гидродинамики.</li> <li>3. Численное решение уравнений гидродинамики в pressure-based схеме.</li> <li>4. Этапы подготовки входных данных и основные разделы меню коммерческого CFD-пакета.</li> <li>5. Проведение численного решения в CFD-пакете. Контроль качества.</li> <li>6. Пост-обработка результатов.</li> <li>7. Примеры.</li> </ol>

### Вопросы по курсу

1. Моменты случайной величины. Правила вычисления средних.
2. Осреднение по Рейнольдсу уравнений движения жидкости.
3. Осреднение уравнения энергии и диффузии. Аналогия Рейнольдса. Турбулентные числа Прандтля и Шмидта.
4. Уравнение энергии для осреднённого течения, Турбулентная кинетическая энергия.
5. Классификация RANS-моделей.
6.  $k - \omega$  и  $k - \epsilon$  модели турбулентности.
7. Турбулентная вязкость: определение, связь с  $k$  и  $\epsilon$ .
8. Пристеночная турбулентность, пристеночные функции в  $k - \epsilon$  модели.
9. Турбулентный погранслой. Безразмерное расстояние до стенки  $y^+$ . Универсальный профиль безразмерной скорости в погранслое.
10. Турбулентное течение в трубе: интегральные характеристики, установление, структура.
11. Этапы численного решения задачи МСС (CFD).
12. Выбор модели турбулентности; опции realizable, enhanced wall treatment и др.
13. На примере решённой задачи – навыки задания входных данных и последовательность действий в меню CFD-кода.
14. Свойства материалов, граничные условия, начальные условия во всей области и в подобластях.
15. Модель турбулентности и опции решателя, мониторинг процесса решения, обработка результатов, запись результатов, экспорт получаемых изображений в стандартные форматы.

### Литература

1. И.О.Хинце, Турбулентность. М., Наука, 1963 (основы).
2. К.Н.Волков, В.Н.Емельянов, Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений, М., Физматлит, 2008 (LES-модели).
3. А.С.Монин, А.М. Яглом. Статистическая гидромеханика. М., Наука, 1963 (физические и математические основы).
4. П.Г.Фрик. Турбулентность: модели и подходы. Пермь, 1998.

### Учебные пособия

1. Филиппов А.С. МЧМГТ – конспект лекций: текущая версия.
2. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений. СПб. 2001 (конспект лекций).