

# МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ

им. М.В.Ломоносова

Кафедра Аэромеханики и газовой динамики

## ПРОГРАММА

спецкурса "Динамика запыленного газа" (1 г.)

Лектор: дфмн, доцент А.Н.Осипцов

1. Примеры двухфазных течений в природе и технике. Модель взаимопроницающих континуумов. Определение основных макропараметров и их связь со структурными параметрами сред. Классификация типов многофазных сред. Особенности сред типа газ-частицы.
2. Основные предположения и уравнения двухжидкостной модели запыленного газа (феноменологический подход). Критерии подобия. Длины скоростной и тепловой релаксации фаз. Модели "замороженного" и "равновесного" течений. "Эффективный" газ.
3. Вывод кинетического уравнения для бесстолкновительной среды частиц из уравнения Лиувилля. Вывод континуальных уравнений бесстолкновительной среды частиц. Уравнения дисперсной фазы в лагранжевых и эйлеровых координатах.
4. Силы, действующие на одиночную частицу в двухфазном потоке. Формулы Стокса и Озеена для коэффициента сопротивления шара. Силы Архимеда, присоединенных масс, Бассэ-Буссинеска, Магнуса, Сэфмана.
5. Универсальная кривая сопротивления сферы при конечных числах Рейнольдса и Маха. Формула Клячко. Формулы Карлсона-Хоглунда. Учет стесненности обтекания и гидродинамического взаимодействия частиц для регулярных и случайных решеток частиц. Парадокс нулевого зазора в стоксовой гидродинамике.
6. Теплообмен между частицей и несущим газом. Расчет теплового потока к сфере при малых числах Пекле. Формула Ранца-Маршалла.
7. Примеры точных решений задач о движении одиночных частиц в газовых потоках. Уравнения для завихренности поля скорости дисперсной фазы. Условия потенциальности силы межфазного взаимодействия. Примеры течений, в которых наличие частиц изменяет лишь поле давлений несущей фазы.
8. Акустическое приближение для модели запыленного газа. Распространение звука в запыленном газе.
9. Стационарные течения запыленного газа в каналах. Квазиодномерное двухфазное течение в сопле. Приближение малого скольжения частиц.

10. Уравнение неразрывности дисперсной фазы в лагранжевой форме в декартовой и криволинейной системах координат. Метод сведения уравнений континуума частиц к обыкновенным дифференциальным уравнениям на фиксированной траектории. Уравнения для компонент якобиана перехода от эйлеровых к лагранжевым переменным. Особенности метода в случаях стационарных и нестационарных течений.
11. Решения с сингулярным поведением концентрации и пересечениями траекторий частиц. Примеры интегрируемых и неинтегрируемых особенностей концентрации: "опрокидывание" волны сжатия, движение частиц в окрестности критической точки потенциального потока, накопление частиц в областях торможения.
12. Структура скачков уплотнения в запыленном газе. Ударные адиабаты для чистого и "эффективного" газа. Волны с полной дисперсией.
13. Граничные условия для модели запыленного газа. Особенности пограничного приближения в двухконтинуальной модели запыленного газа. Двухфазный пограничный слой на плоских и криволинейных поверхностях. Задача Блазиуса для запыленного газа. Роль подъемных сил Сэфмана в сдвиговых течениях.
14. Обтекание затупленных тел до- и сверхзвуковым потоком запыленного газа. Критические условия осаждения частиц.
15. Влияние дисперсной примеси на трение и теплообмен с обтекаемыми поверхностями. Оценка максимальных тепловых потоков со стороны осаждающихся частиц.
16. Учет фазовых переходов (испарения или конденсации) на поверхности частиц в уравнениях запыленного газа и основные эффекты, вызванные массообменом между фазами. Параметры подобия.
17. Учет турбулентности в несущей фазе. Уравнение турбулентной диффузии частиц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Марбл Ф. Динамика запыленных газов. Сб. переводов "Механика", 1971, N6, 48-89.
2. Rudinger G. Fundamentals of gas-particle flows. Elsevier, 1980, 133 p.
3. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Т. 1-2. М. Наука, 1987.
4. Osipov A.N. Mathematical modeling of dusty-gas boundary layers. Appl. Mech. Reviews, 1997, N6, 357-370.