

# СПЕЦКУРС "ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА"

Лектор проф. А.Н. Голубятников

4 курс

При подготовке к экзамену следует обязательно повторить элементы механики сплошной среды и термодинамики: кинематику движения среды; уравнения сохранения массы, изменения количества движения и энергии в дифференциальной и интегральной формах; уравнение живых сил, уравнение притока тепла и производства энтропии; второй закон термодинамики; определение термодинамических потенциалов, понятие теплоемкости процесса; полную систему уравнений вязкого теплопроводного совершенного газа; условия на сильных разрывах; интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа, а также теорему о сохранении циркуляции [1].

Пункты, отмеченные звездочкой, факультативны.

## ПРОГРАММА

1. Понятие сжимаемости ([2], §25). Примеры: равновесие и устойчивость атмосферы ([2], зад. 21.15, 21.17); звездный ветер\*; изменение давления со скоростью вдоль линии тока при установившемся течении ([2], зад. 25.47).

2. Применение интегральных соотношений. Примеры: заполнение пустого сосуда; зависание вертолета, понятие идеального пропеллера ([3], гл. 1, §2).

3. Условия на сильных разрывах в совершенном газе, преобразование их к галилеевоинвариантной форме, классификация ([3], гл. 1 §7; гл. 2, §9).

### Одномерные течения

4. Задача о поршне, вдвигаемом в газ с постоянной скоростью. Исследование поведения решения. Теорема Цемплена ([3], гл. 1, §4; гл. 2, §10).

5. Сильные и слабые ударные волны. Скачок энтропии для слабой ударной волны. Изэнтропическое приближение ([3], гл. 1, §4).

6. Адиабата Гюгонио. Сравнение с адиабатой Пуассона. Замыкающие соотношения, прямая Михельсона ([3], гл. 1, §4).

7. Структура ударной волны, решение Беккера. Оценка толщины ударного слоя ([2], зад. 25.40)

8. Системы квазилинейных уравнений, характеристическая матрица. Уравнение характеристик. Характеристики одномерных движений газа с плоскими волнами, классификация ([3], гл. 2, §3).

9. Левые собственные векторы характеристической матрицы с нулевым собственным числом. Условия на характеристиках. Сохранение энтропии и инвариантов Римана ([3], гл. 2, §3).

10. Правые собственные векторы характеристической матрицы с нулевым собственным числом. Теория слабых разрывов параметров газа, классификация ([3], гл. 2, §5).

11. Задача о поршне, выдвигаемом из газа с постоянной скоростью. Представление об автомодельности. Центрированная волна Римана. Условие отрыва поршня. Полное вычисление характеристик ([3], гл. 2, §8).

12. Простые волны при изэнтропическом течении газа, постоянство одного из инвариантов Римана ([3], гл. 2, §7).
13. Задача Гюгонио об ускорении газом массивного поршня в бесконечной трубе ([4], §99, зад. 4).
14. Решение задачи о простой волне при показателе адиабаты  $\gamma = 3$ . Представление об опрокидывании волны (градиентная катастрофа) ([3], гл. 2, §7, 8, 10).
- 15\*. Распад первоначально покоящегося газового слоя с  $\gamma = 3$  при гауссовом распределении плотности. Определение инвариантов Римана и огибающих семейств характеристик.
16. Метод годографа решения уравнений одномерных изэнтропических течений совершенного газа. Вывод линейного уравнения для  $t(v, a)$ . Сведение уравнений при  $\gamma = 1 + 2/(2n - 1)$ ,  $n = 1, 2, \dots$  к волновому уравнению ([4], §105).
- 17\*. Построение общего решения методом годографа. Примеры: однородный разлет газа; твердотельное ускорение слоя газа, поддерживаемого поршнем.
18. Взаимодействие характеристик с разрывами. Понятие эволюционности разрыва. Представление о возможных случаях распада произвольного разрыва. Автомодельные решения ([3], гл. 2, §9, 12).
19. Отражение ударной волны от стенки. Пределы слабой и сильной ударной волн. Коэффициент отражения ([3], гл. 2, §13).
20. Работа ударной трубы при создании однородного участка течения газа. Выбор параметров ([3], гл. 2, §9, 14).
21. Затухание плоской ударной волны на однородном фоне ([3], гл. 2, §15).
22. Одномерные плоские звуковые волны. Линеаризация уравнений на однородном фоне. Общее решение, бегущие волны. Гармонические волны, эффекты Доплера. ([4], §64, 68).
23. Уравнения одномерного движения газа в лагранжевых переменных. Решения с разделением переменных. Задача Лагранжа о разгоне поршня в полубесконечной трубе. Коэффициент полезного действия ([2], зад. 25.33 а).
24. Условия на разрывах в лагранжевой форме. Ускорение и усиление ударной волны при убывании начальной плотности газа ([2], зад. 25.37).
25. Одномерные нестационарные течения газа с плоскими и сферическими волнами. Стационарные течения ([3], гл. 2, §1).
26. Введение массовой переменной. Уравнения и условия на разрывах ([2], зад. 25.35).
27. Задача о сильном взрыве, автомодельность. Использование лагранжевых переменных. Интеграл Л.И. Седова. Качественное поведение решения ([2], зад. 25.35 а, б).
28. Гидравлическое приближение для течений в канале со слабоменяющимся сечением. Дифференциальные уравнения и условия на разрывах ([3], гл. 1, §3, 4).
29. Стационарные гидравлические течения, интегралы. Переход через скорость звука. Параметры торможения и максимальная скорость. Критические параметры. Связь площади сечения канала с распределением давления ([3], гл. 1, §3).
30. Гидравлическая теория сопла Лавала. Определение силы тяги, ее наибольшее значение, регулирование расходом. Понятие о тепловом сопле. Роль неподвижной ударной волны ([3], гл. 1, §3, 5).
- 31\*. Уравнение движения центра тяжести ракеты при медленно меняющихся параметрах истечения и внешних условиях. Вертикальное движение ракеты в пустоте.

## Плоские установившиеся течения

32. Плоские установившиеся течения. Функция тока и ее свойства. Интеграл адиабатичности и интеграл Бернулли, уравнение Крокко для вихря ([3], гл. 3, §1).

33. Уравнения потенциального движения газа. Примеры: источник и вихрь. Исследование характеристической матрицы, классификация течений. Угол наклона характеристик к скорости потока (угол Маха) ([3], гл. 3, §1, 4).

34. Условия на характеристиках. Сохранение инвариантов Римана. Формулы для совершенного газа ([3], гл. 3, §1, 7, 9).

35. Метод годографа. Вывод уравнения Чаплыгина в переменных  $V, \theta$ . Трансзвуковое приближение. Пример перехода через скорость звука – вихреисточник ([3], гл. 3, §3, 4; [4], §116, 118).

36. Простые волны Прандтля-Майера. Свойство пучка характеристик. Обтекание выпуклой криволинейной стенки, максимальный угол поворота скорости. Автомодельная центрированная волна при обтекании угла ([3], гл. 3, §10, 11).

37. Образование ударной волны при обтекании вогнутой стенки, картина характеристик течения, наличие огибающей ([3], гл. 3, §12).

38. Условия на неподвижных сильных разрывах, классификация разрывов. Следствия теоремы Цемплена. Разрешение условий на разрыве относительно параметров за ударной волной ([3], гл. 3, §2).

39. Ударная поляра, ее различные представления. Свойства ударной поляры как семейства кривых. Наибольший угол поворота скорости и наименьший угол наклона ударной волны ([3], гл. 3, §13).

40. Обтекание пластинки сверхзвуковым потоком. Вычисление силы, действующей на пластинку. Предел малого угла атаки ([3], гл. 3, §14).

41. Обтекание тонких тел, линеаризация уравнений, классификация течений. Дозвуковые течения, вычисление подъемной силы, связанной с циркуляцией ([3], гл. 3, §18).

42. Сверхзвуковое обтекание. Полное решение задачи при заданной форме тонкого контура. Определение подъемной силы и силы сопротивления ([3], гл. 3, §19).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1-2. – М.: Наука, 1994.
2. Галин Г.Я., Голубятников А.Н., Каменярж Я.А., Карликов В.П., Куликовский А.Г., Петров А.Г., Свешникова Е.И., Шикина И.С., Эглит М.Э. Механика сплошных сред в задачах. Т. 1-2. Под ред. М.Э. Эглит. – М.: Московский лицей, 1996.
3. Черный Г.Г. Газовая динамика. – М.: Наука, 1988.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986.