Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Факультет механико-математический

Кафедра механики

Образовательная программа «6B05403 – Механика» · бакалавриат

Дисциплина: Экспериментальная механика

Лекция № 4

Замкнутые аэродинамические трубы

Преподаватель: Туралина Динара Елеусизовна

к.ф.-м.н., ассистент-профессор

Алматы, 2026 год

Особенность труб замкнутого типа

Расширяющийся диффузор постепенно переходит в коллектор, и воздух в трубе **всё время циркулирует по замкнутому контуру**.

Новые элементы

По сравнению с трубами прямого действия:

- обратный канал для возврата воздуха
- колена для поворота потока

Причины появления

Растущие требования:

- к повышению точности измерений
- к удешевлению опытов

Основные элементы: сопло, рабочая часть, диффузор, вентиляторная установка, колена с поворотными лопатками, форкамера с выравнивающими устройствами. Они присущи и трубам около- и сверхзвуковых скоростей.

Схема дозвуковой трубы замкнутого типа

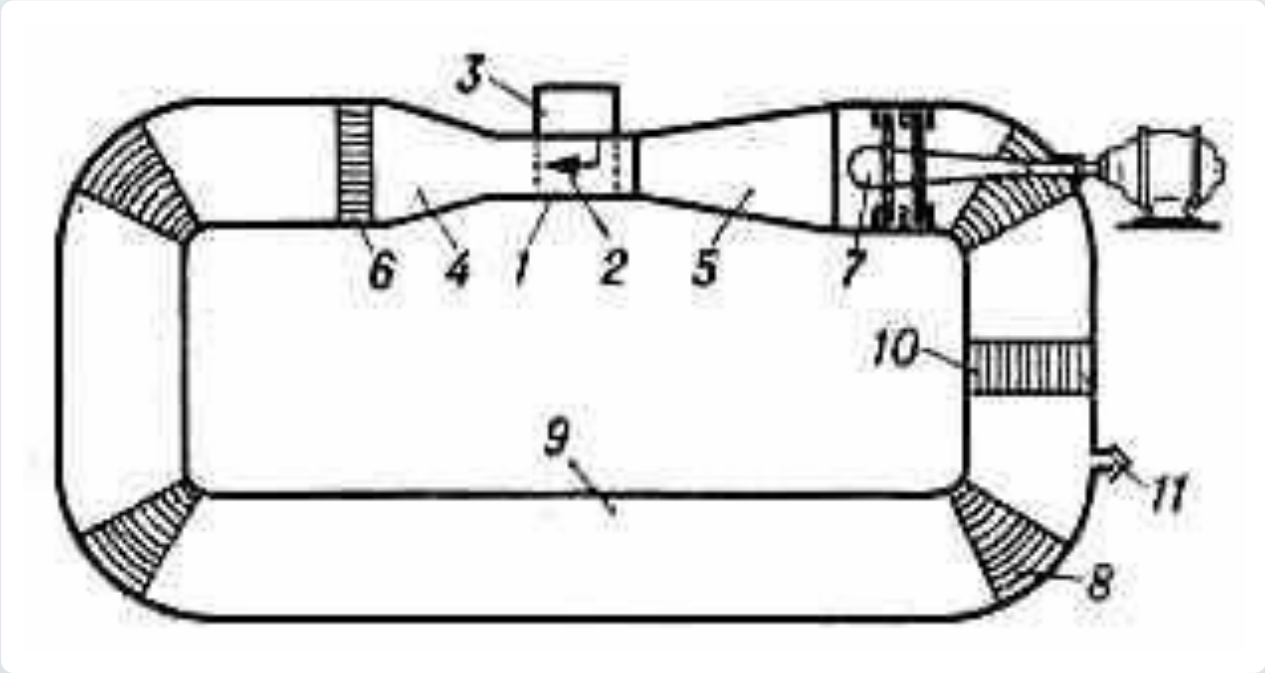


Рисунок 3. Дозвуковая труба замкнутого типа

1 — рабочая часть
2 — исследуемая модель
3 — аэродинамические весы
4 — сопло
5 — диффузор
6 — спрямляющая решётка
7 — компрессор (вентилятор)
8 — направляющие лопатки
9 — обратный канал
10 — радиатор
11 — клапан

Назначение элементов

Сопло 4 и решётка 6

Создают поток с заданными и постоянными по сечению скоростью, плотностью и температурой; решётка выравнивает поле скоростей.

Диффузор 5

Уменьшает скорость и повышает давление в струе, выходящей из рабочей части.

Компрессор 7

Компенсирует потери энергии потока.

Лопатки 8 и обратный канал 9

Лопатки уменьшают потери и предотвращают вихри в коленах; канал сохраняет значительную часть кинетической энергии потока за диффузором.

Радиатор 10

Обеспечивает постоянство температуры газа в рабочей части.

Клапан 11

Поддерживает в рабочей части статическое давление, равное атмосферному.

Размеры дозвуковых труб — от больших установок для испытаний натурных самолётов до миниатюрных настольных установок для научных и учебных целей.

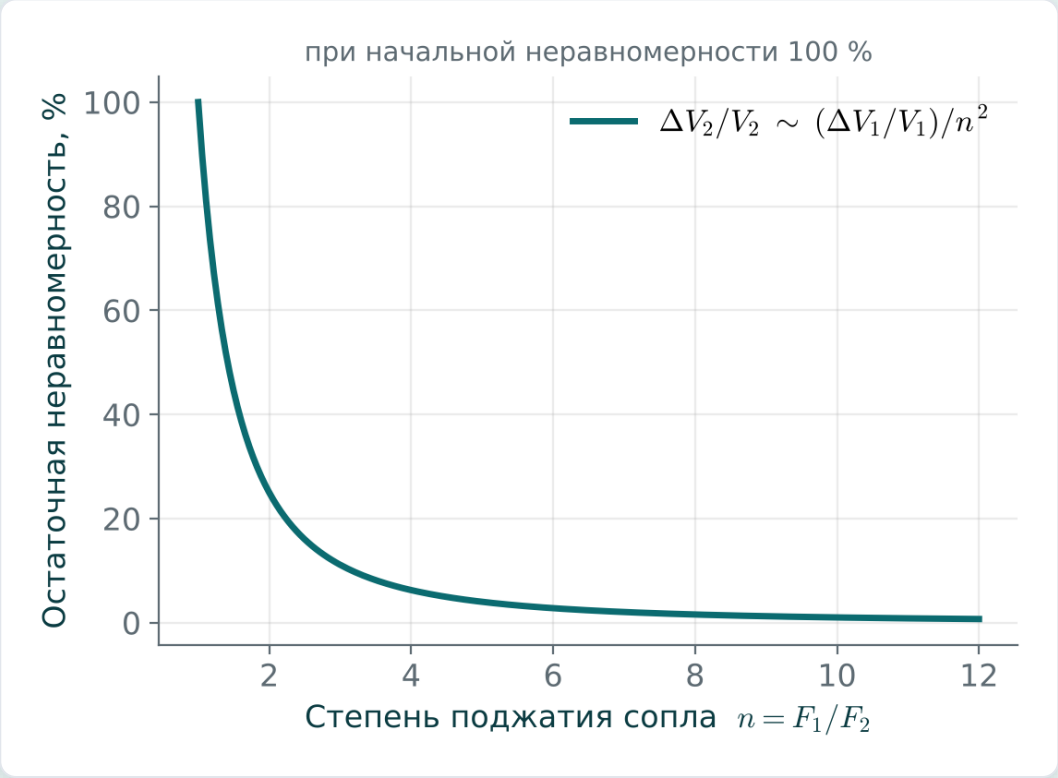
Сопло

Назначение сопла — разгон потока малой скорости, подходящего из форкамеры, до расчётной скорости в рабочей части.

$$n = \frac{F_1}{F_2}, \qquad V_2 = n\,V_1 \tag{1}$$

Благодаря **поджатию** (n > 1) сопло устраняет неравномерность скоростей: относительная неравномерность на выходе уменьшается примерно в n^2 раз.

Уменьшение неравномерности в сопле способствует и уменьшению турбулентности потока в рабочей части.



Оценка влияния степени поджатия

Рабочая часть

Служит для установки модели; в поперечном сечении имеет ту же форму, что и сопло, в продольном направлении — цилиндрическая.

Открытая рабочая часть

- свободный доступ к модели и приборам
- применяется в большинстве труб
- требует большей мощности — примерно на 20 % больше, чем закрытая

Закрытая рабочая часть

- для постоянства скорости вдоль оси нужно компенсировать нарастание пограничного слоя
- это достигается небольшой конусностью рабочей части, зависящей от числа Рейнольдса

Длина рабочей части в обычных трубах составляет (1,5–2) её диаметра.

Диффузор и колена

Диффузор

Постепенно расширяющийся канал для наиболее эффективного превращения кинетической энергии потока в энергию давления.

На его работу влияют величина и распределение скоростей на входе и степень расширения, т. е. **угол раскрытия** диффузора.

Колена с лопатками

Пройдя рабочую часть, поток должен вернуться к соплу — повернуть на 360°. Поворот осуществляется в **четырёх коленах по 90°**.

Профилированные направляющие лопатки (8–10 в колене) позволяют повернуть поток с меньшими потерями.

Форкамера, хонейкомб и сетки

Форкамера — цилиндрический отсек перед соплом для успокоения потока после поворота в четвёртом колене.

Хонейкомб

Набор длинных ячеек (5–10 калибров) для выравнивания скосов потока и разбивки крупных вихрей.

Детурбулизирующие сетки

Выравнивают поле скоростей и уменьшают начальную турбулентность потока в рабочей части.

Потери давления на сетке пропорциональны квадрату скорости, поэтому участки с большей скоростью тормозятся сильнее — поле скоростей выравнивается.

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho V^2}{2} \tag{2}$$

Замкнутая труба и труба прямого действия

Признак	Прямого действия	Замкнутого типа
Путь воздуха	Выбрасывается в помещение или атмосферу	Циркулирует по замкнутому контуру
Кинетическая энергия за диффузором	Теряется	Частично сохраняется (обратный канал)
Потребная мощность	Относительно большая	Меньше при той же скорости
Качество потока	Поле не вполне равномерное	Высокое: форкамера, хонейкомб, сетки
Температура и давление	Зависят от помещения	Регулируются радиатором и клапаном
Конструкция	Проще и дешевле в сооружении	Сложнее: колена, лопатки, обратный канал

Заключение и вопросы для самоконтроля

Выводы

1. В замкнутой трубе воздух циркулирует по замкнутому контуру.
2. Новые элементы — обратный канал и колена с направляющими лопатками.
3. Сопло разгоняет поток и уменьшает его неравномерность за счёт поджатия.
4. Диффузор превращает кинетическую энергию потока в энергию давления.
5. Форкамера с хонейкомбом и сетками выравнивает поток и снижает турбулентность.

Контрольные вопросы

1. Чем замкнутая труба отличается от трубы прямого действия?
2. Перечислите основные элементы замкнутой трубы.
3. Каково назначение сопла? Что такое степень поджатия?
4. Почему открытая рабочая часть требует большей мощности?
5. Как поворачивается поток в замкнутой трубе?
6. Для чего служат хонейкомб и сетки?