Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Факультет механико-математический

Кафедра механики

Образовательная программа «6B05403 – Механика» · бакалавриат

Дисциплина: Экспериментальная механика

Лекция № 7

Методы измерения скоростей. Измерение малых скоростей

Преподаватель: Туралина Динара Елеусизовна

к.ф.-м.н., ассистент-профессор

Алматы, 2026 год

Комбинированный насадок

Малые дозвуковые скорости измеряют **комбинированным насадком**, объединяющим трубки Пито и Прандтля: он измеряет одновременно полное и статическое давление.

По интегралу Бернулли:

$$V = \sqrt{\frac{2(p_0 - p)}{\rho}\,\xi} \qquad (1)$$

ξ — коэффициент тарировки насадка.

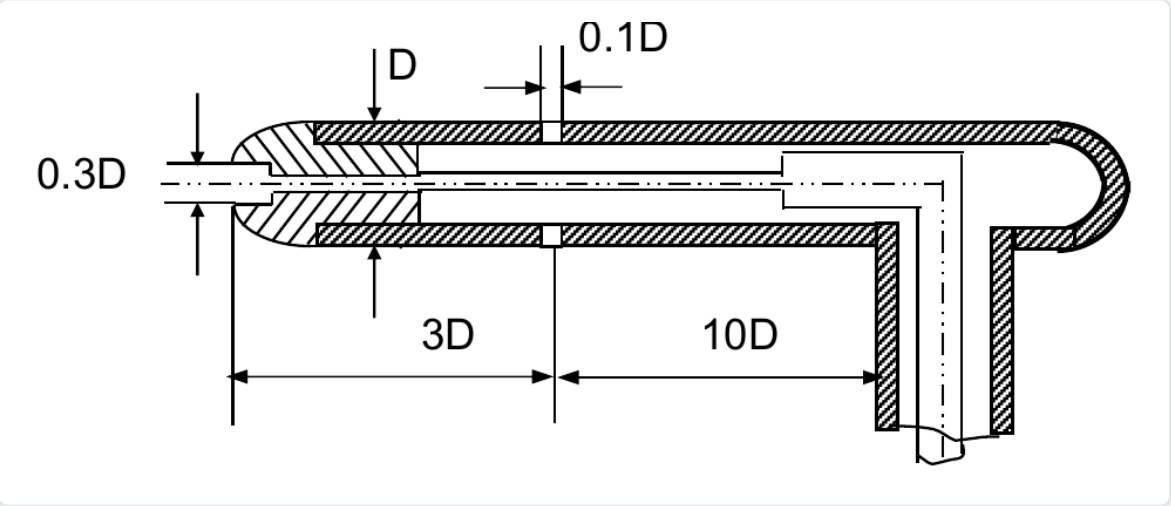


Рисунок 5.1. Схема комбинированного насадка

От чего зависят показания насадка

Расположение отверстий

Положение приёмных отверстий статического давления относительно головки и державки.

Форма головной части

Определяет распределение давления вблизи приёмных отверстий.

Число Рейнольдса

Влияние вязкости на обтекание насадка.

Индивидуальные особенности насадка учитывают коэффициентом тарировки ξ. Зная ξ, находят истинные полное и статическое давления и скорость.

Рассмотрим тарировку комбинированного насадка по скорости; другие насадки давления тарируют аналогично.

Установка для тарировки

- эталонный (1) и тарируемый (2) насадки ставят в установку с помощью координатника
- головки параллельны потоку и симметричны относительно оси
- микроманометр M_1 измеряет разность полного и статического давлений эталонного насадка
- микроманометр M_2 — разность статических давлений эталонного и тарируемого насадков

Считается, что полное давление оба насадка измеряют одинаково, а коэффициент ξ_эт эталонного насадка известен.

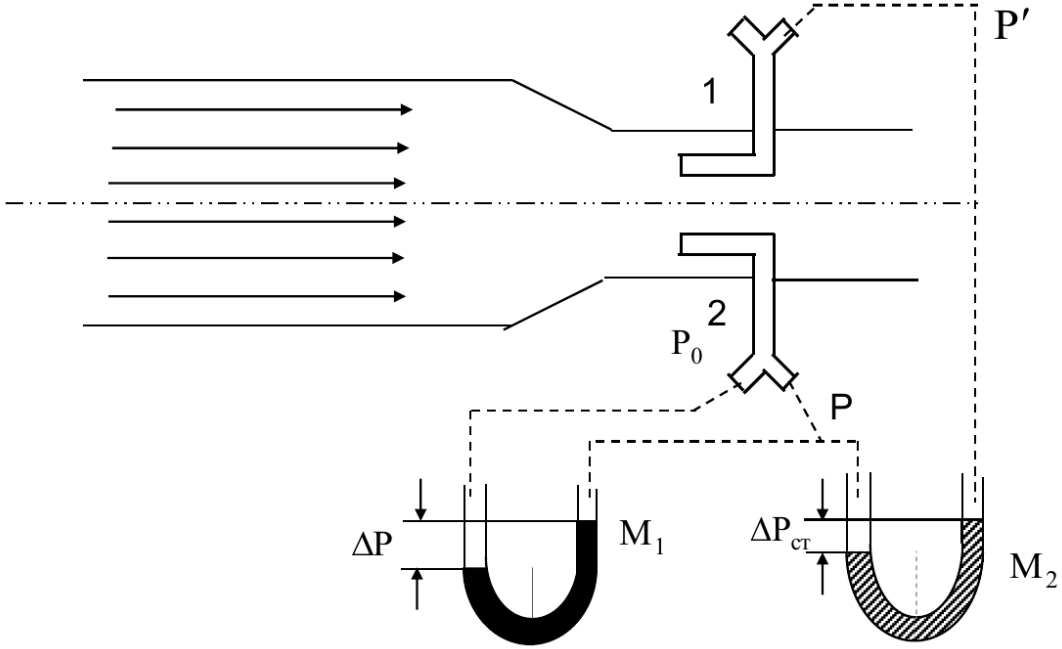


Рисунок 5.2. Схема установки для тарировки

Определение коэффициента тарировки

Из показаний двух микроманометров составим соотношения:

$$\Delta P_{ст} = \left(\frac{1}{\xi} - \frac{1}{\xi_{эт}}\right)\frac{\rho V^2}{2} \qquad (5.1)$$

$$\Delta P = \frac{1}{\xi_{эт}}\,\frac{\rho V^2}{2} \qquad (5.2)$$

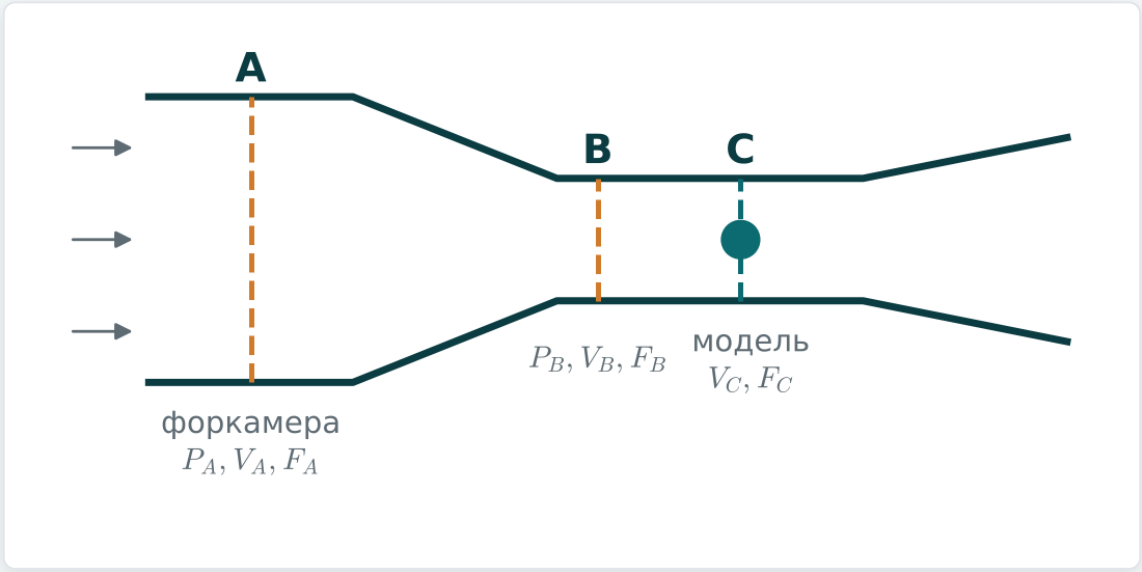
ΔP_ст — разность статических давлений, ΔP — разность полного и статического давлений. Исключая динамический напор:

$$\frac{\xi_{эт} - \xi}{\xi} = \frac{\Delta P_{ст}}{\Delta P} \qquad (5.3)$$

Меняя скорость потока заслонкой, получают зависимость ξ от скорости по показаниям микроманометров.

Скорость в трубе малых скоростей

В трубе с закрытой рабочей частью скорость можно измерять по **перепаду статического давления** между сечением A в форкамере и сечением B в начале рабочей части (вдали от модели).



Сечения A, B и C аэродинамической трубы

Уравнение Бернулли с потерями (ξ_1 — коэффициент потерь):

$$P_A + \frac{\rho V_A^2}{2} = P_B + \frac{\rho V_B^2}{2} + \xi_1 \frac{\rho V_B^2}{2}$$

Уравнение неразрывности:

$$F_A V_A = F_B V_B = F_C V_C$$

Коэффициент перепада давления

Выражая скоростные напоры в сечениях A и B через напор в рабочей части:

$$P_A - P_B = \zeta \frac{\rho V_C^2}{2}, \qquad \zeta = \left(\frac{F_C}{F_B}\right)^2 \left[1 + \xi_1 - \left(\frac{F_B}{F_A}\right)^2\right]$$

Величину ζ находят **тарировкой пустой трубы** комбинированным насадком. Обозначив 1/ζ = μ², получаем формулу режимной скорости:

$$V = \mu \sqrt{\frac{2(P_A - P_B)}{\rho}}$$

μ — коэффициент перепада давления. Для точности в каждом сечении делают 4–8 отверстий, соединённых в пьезометрическое кольцо.

Режимная скорость потока

Определение

Режимной скоростью называют среднюю скорость без модели в том сечении рабочей части, где модель должна стоять, при условии, что массовый расход через пустую трубу равен расходу через трубу с моделью.

Следствие

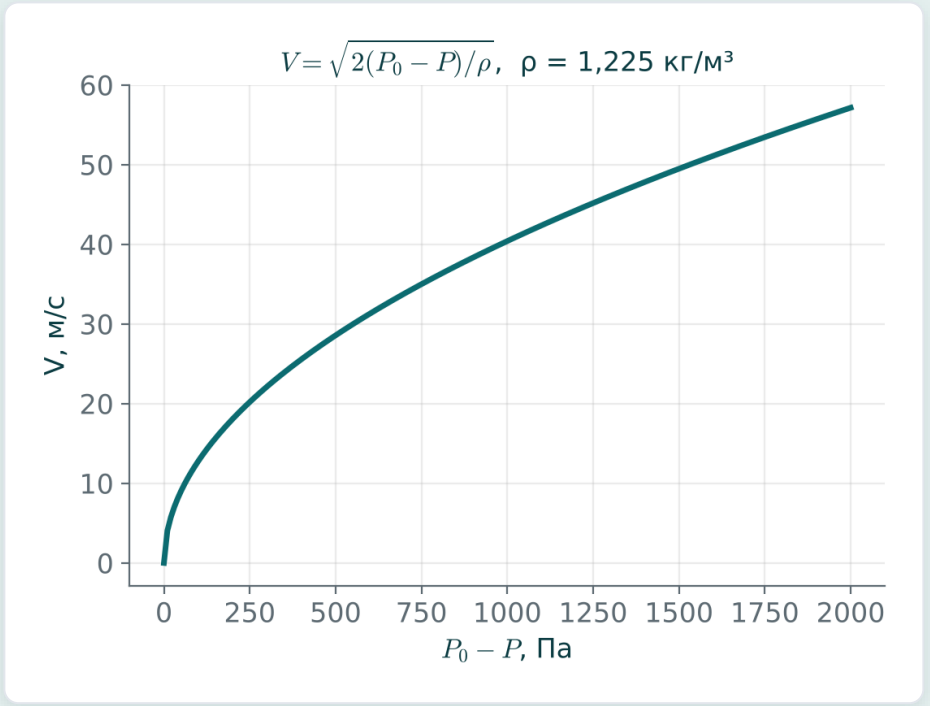
Это условие равносильно **равенству перепадов давления** с моделью и без модели.

Открытая рабочая часть

В замкнутой трубе с открытой рабочей частью статическое давление в ней равно давлению в помещении. Режимную скорость находят после тарировки по разности полного давления в форкамере и давления в помещении.

Порядок измерения скорости

1. Протарировать комбинированный насадок по эталонному — найти ξ(V).
2. Протарировать пустую трубу: одновременно измерить скоростной напор насадком и перепад P_A − P_B — найти μ.
3. В опыте с моделью измерять перепад P_A − P_B пьезометрическими кольцами.
4. Вычислить режимную скорость V = μ √(2(P_A − P_B)/ρ).



V(ΔP) для воздуха при ρ = 1,225 кг/м³

Заключение и вопросы для самоконтроля

Выводы

1. Малые скорости измеряют комбинированным насадком Пито–Прандтля.
2. Показания насадка учитывают коэффициентом тарировки ξ.
3. ξ находят сравнением с эталонным насадком: (ξ_эт − ξ)/ξ = ΔP_ст/ΔP.
4. Скорость в трубе определяют по перепаду статических давлений P_A − P_B.
5. Режимная скорость V = μ √(2(P_A − P_B)/ρ).

Контрольные вопросы

1. Как устроен комбинированный насадок?
2. От чего зависят его показания?
3. Опишите схему тарировки насадка.
4. Выведите формулу (5.3) для коэффициента тарировки.
5. Что такое режимная скорость потока?
6. Для чего служит пьезометрическое кольцо?