

Лабораторная работа 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Выполнил студент гр. _____

Проверил: _____

Ц е л ь: экспериментальное определение коэффициента гидравлического сопротивления трения и коэффициентов местных гидравлических сопротивлений и сопоставление их с расчетными величинами.

При движении жидкости по трубам часть ее энергии расходуется на преодоление трения по длине трубопровода и потери на местных сопротивлениях.

Потери напора на трении определяется по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g},$$

где λ - коэффициент гидравлического трения по длине (коэффициент Дарси);
 V - средняя скорость потока в трубе, м/с ;
 L - длина трубопровода, м;
 d - внутренний диаметр трубопровода, м.

Местные потери напора связаны с деформацией потока и возникают там, где скорость меняет свое направление и/или величину. Эти потери можно рассчитать по формуле Вейсбаха:

$$h = \zeta \frac{V^2}{2g},$$

где ζ - коэффициент местного сопротивления.

Потери напора на трение и местных сопротивлениях можно определить из уравнения Бернулли, записанного для двух сечений потока

$$h = Z_1 - Z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g},$$

где Z_1, Z_2 - геометрические высоты расположения центров тяжести сечений относительно плоскости сравнения, м;
 p_1, p_2 - давление (гидростатическое) в 1-м и 2-м сечениях, Па;
 V_1, V_2 - средние скорости жидкости в 1-м и 2-м сечениях, м/с.

Для горизонтального прямолинейного участка трубопровода с постоянным диаметром: $Z_1 = Z_2$ и $V_1 = V_2$.

Тогда:

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\rho g}$$

Так как в этом случае имеются только потери на трение, то

$$\lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\rho g}$$

Для экспериментального определения коэффициента трения λ необходимо знать давление в 1-м и 2-м сечениях, расстояние между ними, диаметр трубы, плотность жидкости и среднюю скорость. Аналогично можно определить и коэффициент местных сопротивлений, составляя уравнение Бернулли для начального и конечного участков местного сопротивления.

Описание экспериментальной установки

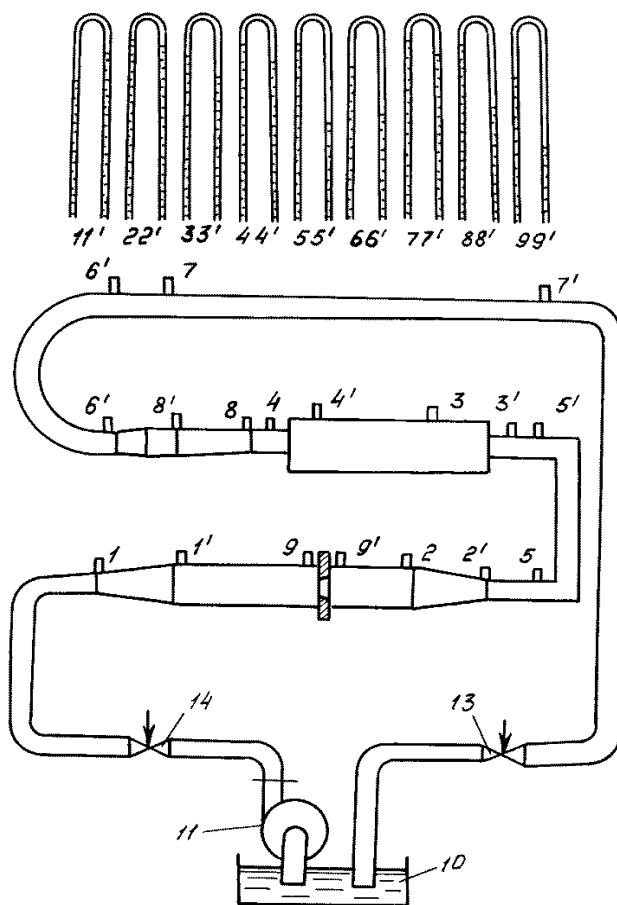


Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки

Стенд для экспериментального определения коэффициентов гидравлического сопротивления (рис. 4.1) состоит из отдельных участков труб. Жидкость вихревым насосом 11 из резервуара 10 через вентиль 14 подается в экспериментальную установку и поступает сначала в диффузор 1-1' ($\alpha = 15^\circ$), диафрагму 9-9' для замера расхода, конфузур 2-2', резкий поворот на 180° 5-5', резкое расширение 3-3', резкое сужение 4-4', диффузор 8-8' ($\alpha = 6^\circ 50'$), плавный поворот на 180° 6-6' и прямолинейный участок трубопровода 7-7' для определения опытного коэффициента гидравлического сопротивления λ . Затем жидкость через вентиль 13 сливается в резервуар 10. Расход поступающей жидкости регулируют вентилем 14. Перепад пьезометрического напора измеряется дифференциальными манометрами 15,

подключенными к каждому виду сопротивлений.

Порядок выполнения работы

1. Включить насос 11.
2. Полностью открыть вентиль 14 (расход воды в этом случае максимальный).
3. Измерить показания дифпьезометров Δh и занести данные в таблицу.
4. Вентилем 14 установить новый расход воды и повторить все измерения 5...6 раз.
5. Закрыть вентиль 14 и выключить насос.

По пункту 3 измеряются следующие перепады напоров, мм:

Δh_d - на диффузоре ($\alpha = 15^\circ$);

Δh_k - на конфузоре;

Δh_{pp} - на резком расширении;

Δh_{pc} - на резком сужении;

Δh_{rp} - на резком повороте;

Δh_{pp} - на плавном повороте;

Δh_d^* - на диффузоре ($\alpha = 6^\circ 50'$);

$\Delta h_{пу}$ - на прямолинейном участке;

Δh - на диафрагме (служит для измерения расхода).

Обработка результатов измерения

Определяется расход жидкости, m^3/c :

$$Q = 0,41 \cdot 10^{-4} \sqrt{\Delta h} ,$$

где Δh - перепад давления на диафрагме, мм.

Средняя скорость жидкости, м/с:

$$V = \frac{Q}{S} ,$$

где $S = \frac{\pi d^2}{4}$ - площадь сечения, m^2 .

Число Рейнольдса для трубопровода круглого сечения:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} ,$$

где $\nu = 1,1 \cdot 10^{-6}$, m^2/c - кинематическая вязкость воды;

d - внутренний диаметр трубопровода, м.

Формула для определения опытных коэффициентов местных сопротивлений имеет вид:

$$\zeta = \frac{\frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + Z_1 - Z_2}{\frac{V_{\max}^2}{2g}},$$

где V_1, V_2 - скорости на входе и выходе местного сопротивления, м/с;

$Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \Delta h$ - показание дифференциального манометра, м;

V_{\max} - наибольшее значение скорости (на входе или выходе из местного сопротивления);

(Для резкого расширения: $d_1 = 27$ мм, $d_2 = 54$ мм; для резкого сужения: $d_1 = 54$ мм, $d_2 = 27$ мм; для диффузора $d_1 = 27$ мм, $d_2 = 54$ мм; для конфузора: $d_1 = 27$ мм, $d_2 = 54$ мм).

Формула для определения коэффициента гидравлического трения, имеет вид (на прямолинейном участке):

$$\lambda = \frac{\frac{p_1 - p_2}{\rho g}}{\frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}} = \frac{\Delta h}{\frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}},$$

где $\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \Delta h$ - показания дифференциального манометра на прямолинейном участке трубопровода, м;

L - длина прямолинейного участка, равна 1,6 м;

d - внутренний диаметр = 27 мм (прямолинейный участок);

V - средняя скорость жидкости, м/с;

Δ - эквивалентная шероховатость = 3 мм.

Расчетные зависимости

Скорость жидкости можно выразить через расход, а расход через перепад давлений на диафрагме. Тогда приведенные формулы для расчета коэффициентов гидравлического сопротивления имеют вид:

скорость: $V = 7,85 \cdot 10^{-2} \sqrt{\Delta h}$, м/с; Δh [мм]

число Рейнольдса: $Re = 2120 \sqrt{\Delta h}$;

коэффициент сопротивления трения $\lambda_0 = 0,054 \frac{\Delta h_{пу}}{\Delta h}$;

$$\text{коэффициент резкого сужения } \zeta_{pc} = 3,18 \frac{\Delta h_{pc}}{\Delta h} - 0,94 ;$$

$$\text{коэффициент резкого расширения } \zeta_{pp} = 3,18 \frac{\Delta h_{pp}}{\Delta h} + 0,94 ;$$

$$\text{коэффициент диффузора } \zeta_d = 3,18 \frac{\Delta h_d}{\Delta h} + 0,94 ; \text{ (по этой формуле рассчиты-}$$

ваются коэффициенты для обоих диффузоров, при этом подставляют соответствующее значение перепада Δh_d и Δh_d^*)

$$\text{коэффициент конфузора } \zeta_k = 3,18 \frac{\Delta h_k}{\Delta h} - 0,94 ;$$

$$\text{коэффициент резкого поворота } \zeta_{pn} = 3,18 \frac{\Delta h_{pn}}{\Delta h} ;$$

$$\text{коэффициент плавного поворота } \zeta_{np} = 3,18 \frac{\Delta h_{np}}{\Delta h} .$$

Для ламинарного режима ($Re < 2320$): $\lambda_p = 64 / Re$;

Для турбулентного режима ($Re > 2320$), в зависимости от соотношения $Re \frac{\Delta}{d}$:

$$\lambda_p = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} ; \quad \text{при} \quad Re \frac{\Delta}{d} < 10; \text{ (формула Блазиуса)}$$

$$\lambda_p = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad \text{при} \quad 10 < Re \frac{\Delta}{d} < 500 \text{ (формула Альтшуля)}$$

$$\lambda_p = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \quad \text{при} \quad Re \frac{\Delta}{d} > 500 \text{ (формула Шифринсона)}$$

Данные расчетов заносятся в таблицу (скорость рассчитывается только для прямолинейного участка). Расчетный коэффициент (λ_p) трения подсчитывается по эмпирическим зависимостям. Коэффициенты местных сопротивлений при резком расширении и сужении ζ_{pp}^p и ζ_{pc}^p определяются по формулам Карно-Борда и сравниваются с полученными опытным путем.

$$\text{Резкое расширение: } \zeta_{pp}^p = (1 - d_1^2 / d_2^2)^2, \quad (d_2 > d_1)$$

$$\text{Резкое сужение: } \zeta_{pc}^p = 0,5 \cdot (1 - d_2^2 / d_1^2), \quad (d_2 < d_1)$$

(значения d_1 и d_2 см. выше).

Содержание отчета

Отчет должен содержать название темы и цель лабораторной работы, схему установки, основные расчетные зависимости, таблицу измеренных и

вычисленных величин, график зависимости опытного и расчетного коэффициентов сопротивления трения от числа Рейнольдса: $\lambda = f(Re)$ и выводы.

Таблица 4.1.

Протокол испытаний

| | | Номер опыта | | | | |
|----------------------------|---------------------------|-------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Измеренные величины, мм | Δh_d | | | | | |
| | Δh_k | | | | | |
| | Δh_{pp} | | | | | |
| | Δh_{pc} | | | | | |
| | Δh_{rp} | | | | | |
| | $\Delta h_{пп}$ | | | | | |
| | Δh_d^* | | | | | |
| | $\Delta h_{пу}$ | | | | | |
| | Δh | | | | | |
| Вычисленные величины | $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | | | | | |
| | $V, \text{ м/с}$ | | | | | |
| | Re | | | | | |
| | λ_o | | | | | |
| | λ_p | | | | | |
| | ζ_d | | | | | |
| | ζ_k | | | | | |
| | ζ_{pp} | | | | | |
| | ζ_{pc} | | | | | |
| | ζ_{rp} | | | | | |
| | $\zeta_{пп}$ | | | | | |
| | ζ_d^* | | | | | |
| | ζ_{pp}^p | | | | | |
| | ζ_{pc}^p | | | | | |

Контрольные вопросы

1. От чего зависит коэффициент гидравлического трения?
2. Что такое гидравлически гладкие трубы?
3. От чего зависит коэффициент местных сопротивлений?
4. Что такое местное сопротивление?
5. Как определяется средняя скорость в сечении?
6. От чего зависит перепад уровней в дифференциальных пьезометрах?