



СОВРЕМЕННОЕ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ  
УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

[www.measlab.ru](http://www.measlab.ru)

## Лабораторная работа 3. Определение гидравлических сопротивлений

### Основные сведения

В трубопроводах помимо потерь напора по длине основных труб возникают и так называемые местные гидравлические сопротивления. Причиной их являются разного рода конструктивные элементы гидравлических систем, обеспечивающие вход и выход потока; сужения и расширения трубопровода, тройники, колена, задвижки, вентили и другие устройства. Местные сопротивления, как правило, вызывают изменение скорости движения жидкости по величине и направлению одновременно.

Установлено, что коэффициент местного сопротивления, зависит не только от вида самого местного сопротивления, но и от характера ламинарного или турбулентного движения жидкости, которое характеризуется критерием Рейнольдса -  $Re$ , как соотношение сил инерции и вязкости. Однако до настоящего времени вопрос о местных сопротивлениях для ламинарных режимов течения жидкости исследован недостаточно полно.

Некоторые местные сопротивления рассматриваются в настоящей лабораторной работе. Среди них: внезапное расширение трубопровода, внезапное сужение трубопровода, поворот на  $90^\circ$ , поворот на  $45^\circ$ , диафрагма.

При внезапном расширении трубопровода поток по инерции срывается с внутренней угловой кромки и образует струю, которая отделяется от стенок расширенной трубы вихревой зоной. При турбулентном режиме за счет беспорядочно движущихся частиц имеет место интенсивный обмен количеством движения между сквозным транзитным потоком жидкости и вихревой зоной. Увлекая частицы вихревой зоны, транзитный поток замедляется и, постепенно расширяясь, снова заполняет все сечение трубопровода. Происходящее при этом

повышение давления вызывает возвратное движение частиц вихревой зоны. В результате этого возникает вращательное (циркуляционное) движение жидкости, заполняющей эту зону. Из неустойчивой вихревой зоны транзитный поток периодически захватывает отдельные крупные вихри и уносит их по течению. Стабилизация потока происходит на длине, равной примерно десяти диаметрам трубопровода. Затраты механической энергии на создание вихрей с последующим переходом кинетической энергии их вращения в тепло под действием сил внутреннего трения составляет здесь наибольшую часть потерь энергии движения потока.

Такие же явления, как и при внезапном расширении трубопровода, характерны для других местных сопротивлений, в которых поток обтекает острые кромки, фиксирующие места отрыва потока от стенок и образование вихревых зон (колена, диафрагма, задвижка и пр.). В таких сопротивлениях основными являются вихревые потери, а тормозящее действие стенок на поток имеет второстепенную роль.

**Цель работы:** экспериментальное определение коэффициентов гидравлических сопротивлений в трубопроводах при различных скоростях движения жидкости и сравнение полученных значений со справочными.

### **Описание установки**

Лабораторная установка (рис. 3.1) состоит из расширительной емкости, поднятой над основанием. Находящаяся в емкости жидкость поступает в нижнюю магистраль на высоте 0,25 м от поверхности стола в трубопровод с внутренним диаметром 13 мм и диаметром 26 мм на участке между расширением и сужением.

Для измерения перепадов давления на магистралях установлены дифференциальные датчики давления. Расход по каждой ветке магистрали регулируется соответствующим вентилем. Для измерения расхода и

последующего определения скорости движения жидкости в исследуемой гидравлической системе установлен импульсный расходомер.

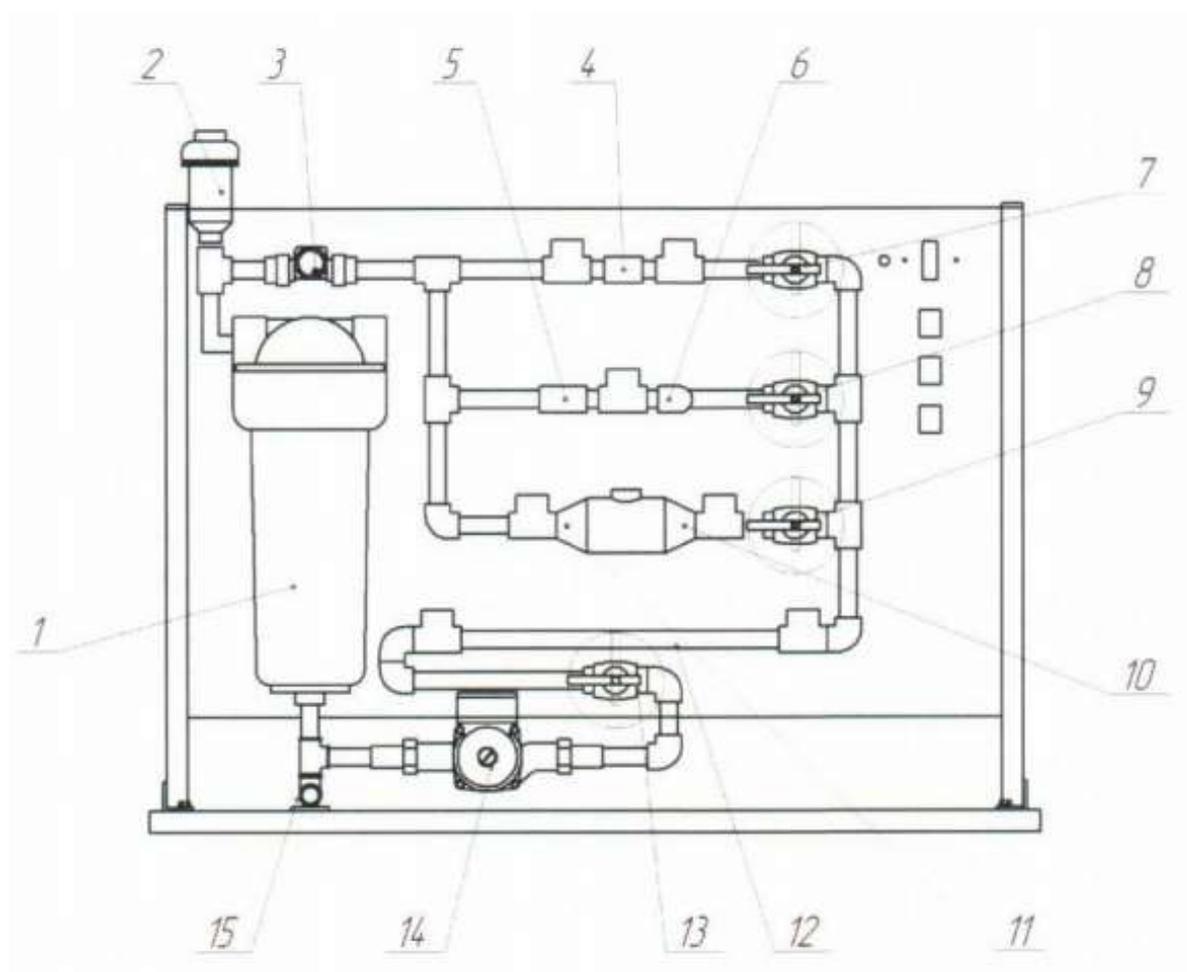


Рисунок 3.1. – Схема лабораторной установки

1 – расширительный бак с рабочей жидкостью, 2 – заливочное устройство, 3 – расходомер с импульсным выходом, 4 – диафрагма с диаметром отверстия 6,5 мм (разность давлений  $\Delta P_6$ ), 5 – поворот 45 градусов (разность давлений  $\Delta P_5$ ), 6 – поворот 90 градусов (разность давлений  $\Delta P_4$ ), 7–9 – клапаны перекрытия магистралей, 10 – плавное расширение (разность давлений  $\Delta P_2$ ), 11 – резкое сужение (разность давлений  $\Delta P_3$ ), 12 – прямой участок (разность давлений  $\Delta P_1$ ), 13 – регулирующий кран всей системы, 14 – циркуляционный насос, 15 – кран слива рабочей жидкости из системы.

## Методика выполнения работы

1. Проверить наличие жидкости в емкости и при необходимости долить воды так, чтобы уровень жидкости в ней был выше  $2/3$  объема расширительного бака.
2. Подключить лабораторную установку к сети 220 В и компьютеру с помощью USB кабеля.
3. Включить лабораторную установку с помощью автоматического выключатель 220 В.
4. Запустить программу проведения лабораторной работы Пуск→MeasLab→«Гидравлические сопротивления».
5. Открыть краны 13, 7, 8, 9.
6. Клавишей ВК1 запустить насос и проверить работу системы и датчиков давления с помощью программы измерения.
7. Зафиксировать расход перепад давления для прямого участка 12 (разность давлений  $\Delta P_1$ ). Измерить длину прямого участка  $L$ .
8. Закрыть краны 7 и 8, оставив открытым краны 13 и 9. Зафиксировать расход и перепады давления для расширения (разность давлений  $\Delta P_2$ ) и сужения (разность давлений  $\Delta P_3$ ).
9. Закрыть кран 9 и открыть кран 8. Зафиксировать расход и перепады давления поворота 90 градусов (разность давлений  $\Delta P_4$ ) и поворота 45 градусов (разность давлений  $\Delta P_5$ ).
10. Закрыть кран 8 и открыть кран 7. Зафиксировать расход и перепад давления диафрагмы (разность давлений  $\Delta P_6$ ).
11. Закрыть программу, остановить насос клавишей ВК1.
12. Выключить компьютер и установку, отсоединить USB кабель.

## Обработка экспериментальных данных

1. Скорость движения жидкости, м/с

$$v = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d^2}$$

2. Число Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d_3 \cdot \rho}{\mu}$$

3. Коэффициент местных сопротивлений

$$\xi_{\text{расч}} = \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot v^2}$$

$\xi_{\text{теор}}$  находим по справочным таблицам (см. приложение).

4. Расчётный коэффициент гидравлического трения для прямого участка

$$\lambda_{\text{расч}} = \xi_{\text{расч}} \cdot \frac{d_3}{L}$$

5. Теоретический коэффициент гидравлического трения для прямого участка

$$\lambda_{\text{теор}} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$$

Таблица 3.1

### Экспериментальные и расчётные величины

№	Наименование сопротивления	$\dot{V}$ , л/мин	$v$ , м/с	Re	$\Delta p$ , кПа	$\xi_{\text{расч}}$	$\xi_{\text{теор}}$
1	Прямой участок длиной $L = \underline{\hspace{1cm}}$ м					( $\lambda_{\text{расч}} = \underline{\hspace{1cm}}$ )	( $\lambda_{\text{теор}} = \underline{\hspace{1cm}}$ )
2	Расширение						
3	Сужение						
4	Поворот на 90°						
5	Поворот на 45°						
6	Диафрагма $m = (d_o/d)^2 = \underline{\hspace{1cm}}$						

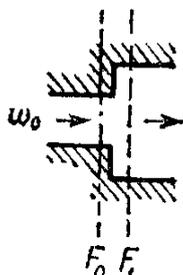
## Контрольные вопросы

1. Что понимают в гидродинамике под реальной и идеальной жидкостью? В чём принципиальное различие в понятиях «идеальный газ» в термодинамике и «идеальная жидкость» в гидродинамике?
2. Какие существуют режимы течения жидкости?
3. Запишите уравнение Бернулли применительно к двум произвольным поперечным сечениям потока идеальной жидкости в канале. Каковы размерность и физический смысл каждого из членов уравнения Бернулли?
4. На компенсацию каких потерь затрачивается энергия при течении жидкостей по трубопроводам и через аппараты? В какую форму переходит механическая энергия потока, теряемая при движении?
5. Какую шероховатость стенки трубы называют эквивалентной? В каком случае трубы считаются гидравлически гладкими?
6. Как влияет шероховатость на гидравлическое сопротивление при движении жидкости в ламинарном и в турбулентном режимах?
7. Как изменится гидравлическое сопротивление гидравлически гладкого трубопровода при ламинарном и турбулентном режимах движения, если скорость течения жидкости увеличится в два раза?
8. Что понимают под автомодельной областью движения жидкости?
9. Что понимают под местным гидравлическим сопротивлением? Назовите местные сопротивления, которые вы знаете.
10. К потерям статического или динамического напора приводит наличие гидравлических сопротивлений?
11. Как вычисляют потери давления и потери напора на трение и на местные сопротивления?
12. В чём состоит принцип гидравлических методов измерения расходов жидкостей и газов?
13. Почему важно учитывать возникновение гидравлических сопротивлений при проектировании гидросистем?
14. Чем различаются вентиль, задвижка и кран? Почему они оказывают разные сопротивления потоку?

## Приложение

Вид сопротивления	Значение коэффициента местного сопротивления $\zeta$
-------------------	--

### Внезапное расширение



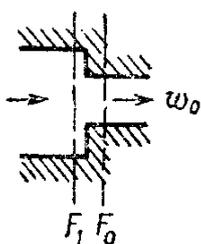
$F_0$  — площадь меньшего поперечного сечения, м<sup>2</sup>;  
 $w_0$  — скорость потока в меньшем сечении, м/с;  
 $F_1$  — площадь большего поперечного сечения, м<sup>2</sup>;

$$Re = \frac{w_0 d_{\text{э}}}{\nu};$$

$$\Delta p_{\text{расш}} = \zeta \left( \frac{\rho w_0^2}{2} \right)$$

$Re = \frac{w_0 d_{\text{э}}}{\nu}$	$F_0/F_1$					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
10	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
100	1,70	1,40	1,20	1,10	0,90	0,80
1 000	2,0	1,60	1,30	1,05	0,90	0,60
3 000	1,00	0,70	0,60	0,40	0,30	0,20
3 500	0,81	0,64	0,50	0,36	0,25	0,16
и более						

### Внезапное сужение



$F_0$  — площадь меньшего поперечного сечения, м<sup>2</sup>;  
 $w_0$  — скорость потока в меньшем сечении, м/с;  
 $F_1$  — площадь большего поперечного сечения, м<sup>2</sup>;

$$Re = \frac{w_0 d_{\text{э}}}{\nu};$$

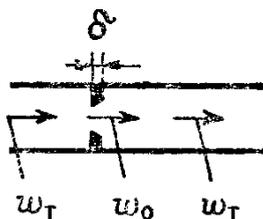
$$\Delta p_{\text{суж}} = \zeta \left( \frac{\rho w_0^2}{2} \right)$$

$Re = \frac{w_0 d_{\text{э}}}{\nu}$	$F_0/F_1$					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
10	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
100	1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80
1 000	0,64	0,50	0,44	0,35	0,30	0,24
10 000	0,5	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
> 10 000	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20

Колено (угольник) 90° стандартный чугунный	Условный проход, мм	12,5	25	37	50
	$\zeta$	2,2	2	1,6	1,1

Колено (угольник) с произвольным углом $\zeta = \zeta_{90^\circ} \cdot K$	Угол	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
	$K$	0,5	2/3	0,8	1	1,2	1,3	1,4

Диафрагма (отверстие)  
с острыми краями в пря-  
мой трубе



При  $\frac{\delta}{d_0} = 0 \div 0,015$  потеря давления  $\Delta p = \zeta \frac{\rho w_T^2}{2}$

Значение  $\zeta$  определяется по таблице:

$m$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
$\zeta$	7000	1670	730	400	245	165	117	86,0	65,5	51,5	40,0
$m$	0,24	0,26	0,28	0,30	0,34	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\zeta$	32,0	26,8	22,3	18,2	13,1	8,25	4,00	2,00	0,97	0,42	0,13

$d_0$  — диаметр отверстия  
диафрагмы, м;  $\delta$  — тол-  
щина диафрагмы, м;  
 $w_0$  — средняя скорость  
потока в отверстии, м/с;  
 $w_T$  — средняя скорость  
потока в трубе, м/с;  $m =$   
 $= \left(\frac{d_0}{D}\right)^2$ ;  $D$  — диаметр  
трубы, м