

### 3 Лабораторная работа № 3. Определение коэффициентов местных гидравлических сопротивлений

#### Цель работы:

- изучение методики экспериментального определения коэффициентов местных гидравлических сопротивлений;
- экспериментальное определение коэффициентов сопротивления обратного клапана, колена, постоянного гидродросселя.

#### 3.1 Краткие теоретические сведения

**Местные гидравлические сопротивления** – это устройства или короткие участки трубопроводов, на которых имеют место **существенные потери энергии**, обусловленные изменениями скорости потока по величине и (или) направлению и возникновением вихревых зон.

Потери напора в местных сопротивлениях в большинстве случаев могут быть вычислены по формуле Вейсбаха [3, 4]

$$h_m = \zeta_m \frac{v^2}{2g}, \quad (3.1)$$

где  $\zeta_m$  – коэффициент местного сопротивления (величина безразмерная);

$v$  – средняя скорость в сечении трубопровода перед местным сопротивлением или после него (так, например, для внезапного расширения, чаще всего, скорость принимается в сечении перед ним, а для внезапного сужения – наоборот, в сечении после него).

Экспериментальное определение  $\zeta_m$  осуществляется на основе уравнения Вейсбаха (3.1).

Полные напоры  $H_1$  и  $H_2$  в сечениях 1–1 и 2–2 будут определены экспериментально. В связи с тем, что напоры  $H_1$  и  $H_2$  определены не непосредственно у местного сопротивления, а на некотором удалении от него, потери напора

$$H_1 - H_2 = h_m + h_{\text{дл.1-2}}, \quad (3.2)$$

где  $h_m$  – потери в местном сопротивлении (точнее было бы сказать, что это потери, обусловленные наличием местного сопротивления, т. к. эти потери возникают не только в местном сопротивлении, а и на некотором удалении от него);

$h_{\text{дл.1-2}}$  – потери на трение по длине трубопровода между сечениями 1–1 и 2–2 при течении стабилизированного потока.

Для определения  $h_{\text{дл.1-2}}$  необходимо создать контрольный участок, на котором затем определяется гидравлический уклон.

**Контрольный участок** – это участок трубопровода постоянного диаметра со стабилизированным потоком, не содержащий между начальным и конечным сечениями (к которым подключены манометры или пьезометры) местных сопротивлений. На рисунке 3.1 контрольный участок расположен между сечениями 2–2 и 3–3.

Гидравлический уклон

$$i = \frac{H_2 - H_3}{l_{2-3}}, \quad (3.3)$$

где  $H_2$ ,  $H_3$  – полные напоры в начале и в конце контрольного участка, м;

$l_{2-3}$  – длина контрольного участка, м.

Тогда потери давления на трение по длине трубопровода между сечениями 1–1 и 2–2 при течении стабилизированного потока

$$h_{\text{дл.1-2}} = i l_{1-2}, \quad (3.4)$$

где  $l_{1-2}$  – расстояние между сечениями 1–1 и 2–2,  $l_{1-2} = l_{1-m} + l_{m-2}$ .

Таким образом, для экспериментального определения коэффициента местного сопротивления **необходимо**:

1) из формулы Вейсбаха (3.1) выразить  $\zeta_m$ :

$$\zeta_m = \frac{2g h_m}{v^2}; \quad (3.5)$$

2) экспериментально определить потери напора в местном сопротивлении  $h_m$  и среднюю скорость течения жидкости  $v$ , а затем вычислить  $\zeta_m$ .

Для нахождения  $h_m$  нужно определить полные напоры перед местным сопротивлением и после него  $H_{вх}$  и  $H_{вых}$ , а также гидравлический уклон  $i$  на контрольном участке.

Тогда

$$h_m = H_{вх} - H_{вых} - i l, \quad (3.6)$$

где  $l$  – расстояние между сечениями участка, включающего исследуемое местное сопротивление.

В случае, когда  $d_1 \neq d_2$  (решается, например, задача экспериментального определения  $\zeta_m$  для таких местных сопротивлений, как внезапное расширение или внезапное сужение), величина  $h_{\text{дл.1-2}}$  вычисляется из выражения

$$h_{\text{дл.1-2}} = i_1 l_{1-m} + i_2 l_{m-2}, \quad (3.7)$$

где  $i_1, i_2$  – гидравлические уклоны, определенные на контрольных участках с диаметрами  $d_1$  и  $d_2$ , т. е. в этом случае нужно создавать два контрольных участка;

$l_{1-m}$  – расстояние от сечения 1–1 до местного сопротивления (диаметр трубопровода  $d_1$ );

$l_{m-2}$  – расстояние от местного сопротивления до сечения 2–2 (диаметр трубопровода  $d_2$ ).

### 3.2 Проведение испытаний

**Объектом испытаний** в данной работе является стальной трубопровод (от сечения 1–1 до сечения 5–5), содержащий три гидравлических местных сопротивления: обратный клапан (без пружины), колено (поворот на 90 град) и постоянный гидродроссель ДР1 (см. рисунок 3.1).

Размеры на схеме приведены в миллиметрах. Трубопровод содержит: клапан обратный КО (без пружины), колено (поворот на 90 град) и постоянный гидродроссель ДР1 (диаметр 3 мм, толщина стенки 1,5 мм), контрольный участок (расположен между сечениями 3–3 и 4–4).

**3.2.1 Подготовка установки к работе.** Перед включением стенда необходимо убедиться, что:

- маховик управления регулятора расхода РР полностью вывернут против часовой стрелки (указатель положения маховика установлен в позицию «1»);
- тумблеры управления гидрораспределителями Р1 и Р2 установлены в положение «Выкл.»;
- тумблер установки режима работы электронного секундомера установлен в положение «Ручн.», а тумблер включения питания секундомера – в нижнее положение.

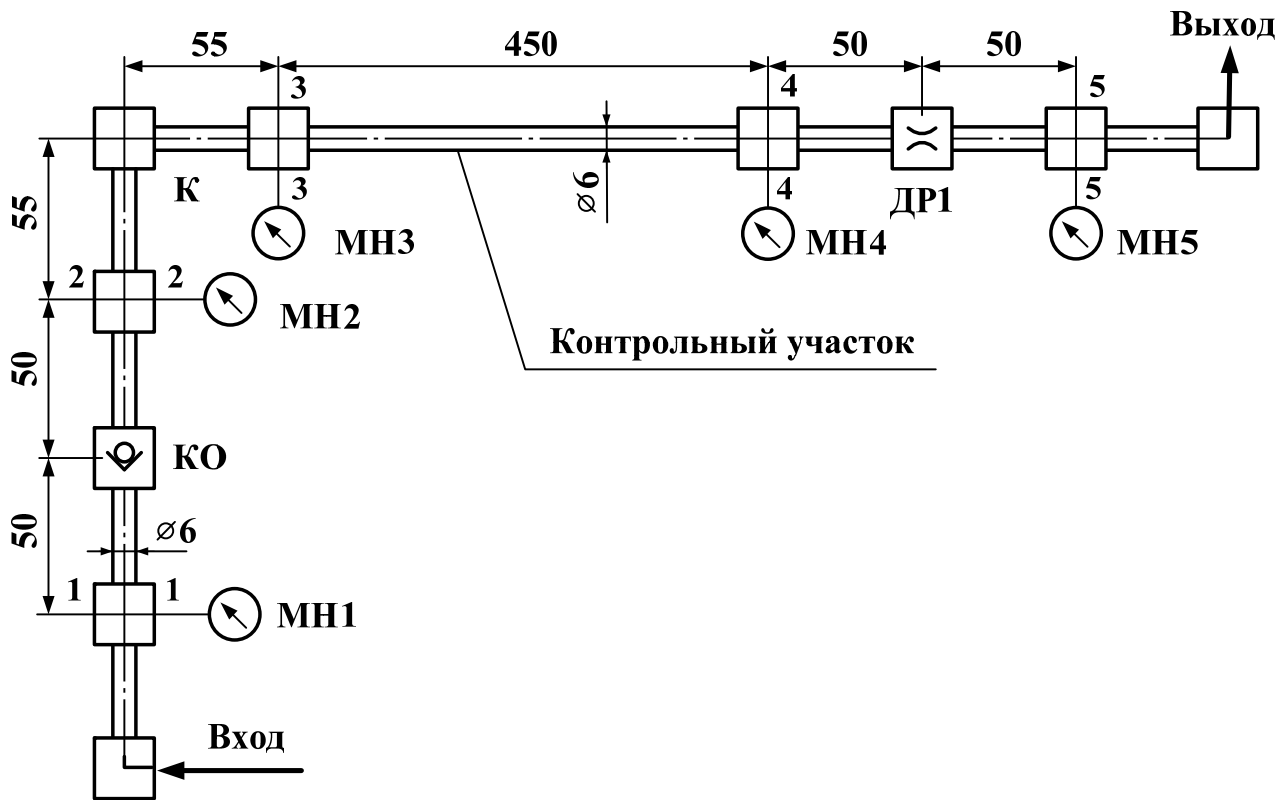


Рисунок 3.1 – Схема объекта исследований

3.2.2 *Проведение эксперимента.* Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), питание электронного секундомера (тумблер установить в положение «Вкл.»). Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Включить тумблер Р1 в верхнее положение «Вкл. 1». При этом жидкость от насоса через распределитель Р1 направляется к исследуемому трубопроводу (установлен на средней панели стенда).

При различных настройках регулятора расхода РР необходимо провести четыре опыта. Первый опыт проводить при минимальном, а последний – при максимально возможном расходах (смотреть по расходомеру РА).

В каждом опыте необходимо измерять:

– давления  $p_{j1} - p_{j5}$  по манометрам МН1–МН5 (индекс  $j$  соответствует номеру опыта);

– время  $t_j$  прохождения через расходомер объема жидкости  $W_{жс}$ , с. Объемом  $W_{жс}$  необходимо задаться, приняв его, например, равным во всех опытах  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  (5 л);

– температуру рабочей жидкости  $T_j$ , °С (по термометру).

Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

После выполнения всех опытов необходимо отключить установку.

Таблица 3.1 – Результаты исследований

Но- мер опыта	Показания манометров МН1–МН5, МПа (цифровой индекс при $p$ соответствует номеру сече- ния и манометра)					Время про- хождения объема $W_{ж}$ через расхо- домер $t_j$ , с	Объем жид- кости $W_{ж}$ , проходящей через расхо- домер, м <sup>3</sup>	Темпера- тура рабочей жидкости $T_j$ , °С	Кинема- тическая вязкость $\nu_j$ , м <sup>2</sup> /с	Расход жидко- сти $Q_j$ , м <sup>3</sup> /с
	$p_{j1}$	$p_{j2}$	$p_{j3}$	$p_{j4}$	$p_{j5}$					
1						5·10 <sup>-3</sup>				
2										
3										
4										

### 3.3 Обработка результатов

Кинематическая вязкость  $\nu_j$  (см. таблицу 3.1) определяется при  $T_j$  по графику  $\nu = f(T)$ , который имеется в лаборатории (в качестве рабочей жидкости используется масло для гидрообъемных передач МГЕ-46 В).

Расход жидкости в трубопроводе (см. таблицу 3.1)

$$Q = \frac{W_{ж}}{t}.$$

Средняя скорость потока

$$v = Q_j / A_{mp},$$

где  $A_{mp}$  – площадь сечения трубопровода (внутренний диаметр трубопровода  $d = 6 \cdot 10^{-3}$  м (6 мм)), м<sup>2</sup>.

В таблице 3.2 приводятся результаты обработки данных эксперимента.

Число Рейнольдса

$$Re_j = \frac{v_j d}{\nu_j}.$$

Коэффициент Кориолиса  $\alpha_j = 2$  при  $Re_j < 2320$  и  $\alpha_j = 1$  при  $Re_j > 2320$ .

Пьезометрический напор

$$h_{nj,i} = p_{j,i} / (\rho g),$$

где  $p_{j,i}$  – давление в  $j$ -м опыте и в  $i$ -м сечении, Па;

$\rho$  – плотность жидкости,  $\rho = 890$  кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 3.2 – Результаты обработки экспериментальных данных

Номер опыта $j$	$j = 1$					$j = 2$					$j = 3$					$j = 4$				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Средняя скорость $v_i$ , м/с																				
Число Рейнольдса $Re_i$																				
Коэффициент Кориолиса $\alpha_i$																				
Пьезометрический напор $h_{nj,i}$ , м																				
Скоростной напор $h_{cj}$ , м																				
Полный напор $H_{j,i}$ , м																				
Гидравлический уклон $i_j$																				
Потери напора $h_{коj}$ на клапане обратном КО, м																				
Потери напора $h_{kj}$ на колене К, м																				
Потери напора $h_{дрj}$ на гидродросселе ДР1, м																				
Коэффициент местного сопротивления $\zeta_{коj}$ КО																				
Коэффициент местного сопротивления $\zeta_{kj}$ К																				
Коэффициент местного сопротивления $\zeta_{дрj}$ ДР1																				

Скоростной напор

$$h_{cj} = \alpha_j v_j^2 / (2g).$$

В пределах опыта скоростной напор  $h_{cj}$  – величина постоянная, а пьезометрические напоры  $h_{nj,i}$  изменяются как при переходе от одного опыта к другому, так и при изменении сечения.

Полный напор

$$H_{j,i} = h_{cj} + h_{пj,i}.$$

Гидравлический уклон (определяется на контрольном участке)

$$i_j = H_{j3} - H_{j4} / l_{3-4},$$

где  $l_{3-4}$  – длина контрольного участка (см. рисунок 3.1), м.

Потери напора на местных сопротивлениях (КО, К и ДР1) вычисляются по формуле (3.6) в соответствии с изложенной в подразд. 3.1 методикой.

Так, если нужно определить потери напора на клапане обратном КО, например, в первом опыте ( $j = 1$ ), то

$$h_{ко1} = H_{1,1} - H_{1,2} - i_1 l_{1-2},$$

где  $H_{1,1}$  – полный напор (первый индекс – номер опыта, второй – номер сечения);

$H_{1,2}$  – полный напор в первом опыте в сечении 2–2;

$i_1$  – гидравлический уклон в первом опыте;

$l_{1-2}$  – расстояние между сечениями 1–1 и 2–2 (по схеме на рисунке 3.1  $l_{1-2} = 50 + 50 = 100$  мм = 0,1 м).

Аналогичный подход используется как при определении потерь напора на клапане обратном в других опытах, так и при определении потерь на других сопротивлениях. Нужно только при определении потерь использовать соответствующие напоры в сечениях  $H_{j,i}$ , гидравлические уклоны  $i_j$  и длины участков, на которых между двумя смежными сечениями установлено исследуемое местное сопротивление. После вычисления всех потерь напора на местных сопротивлениях по формуле (3.5) определяются для четырех опытов численные значения  $\zeta_{коj}$ ,  $\zeta_{kj}$  и  $\zeta_{дрj}$ .

После заполнения таблицы 3.2 нужно **построить графические зависимости**  $\zeta_{ко} = f_1(Re)$ ,  $\zeta_{к} = f_2(Re)$  и  $\zeta_{др} = f_3(Re)$ . Построение можно выполнить на одном рисунке. Полученные значения коэффициентов местных сопротивлений нужно сравнить со справочными данными [4].

### **Контрольные вопросы**

1 Дайте определение местного сопротивления, назовите основные виды местных сопротивлений.

2 Объясните причины потерь напора в местных сопротивлениях.

3 В чем заключается методика экспериментального определения  $\zeta_{м}$ ?

4 С какой целью определяются гидравлические уклоны?

5 Какие факторы влияют на величину  $\zeta_{м}$  при ламинарном и турбулентном режимах течения?