

**ПГМинистерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Мытищинский филиал
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МФ-МГТУ им. Н.Э.Баумана)**

ФАКУЛЬТЕТ лесного хозяйства, лесопромышленных технологий и садово-паркового
строительства

КАФЕДРА ЛТ-4

С. П. Карпачев

«Гидравлика и пневматика»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2
Определение коэффициента сопротивления трения
в трубопроводе

Методические указания

2022 г.

Кафедра ЛТ-4

Дата проведения лабораторной работы _____

Группа _____

Список бригады (инструктаж по технике безопасности прошел):

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

7. _____

8. _____

9. _____

10. _____

Преподаватель:

проф. Карпачев С.П. _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ В
ТРУБОПРОВОДЕ

Цель работы:

1. Экспериментальное определение коэффициента сопротивления трения $\lambda_{\text{опыт}}$.
2. Определение расчетное значение коэффициента сопротивления трения $\lambda_{\text{расч}}$ по формулам.
- 3) Сравнение $\lambda_{\text{опыт}}$ с $\lambda_{\text{расч}}$

1. Основные расчетные зависимости

Величина потерь напора по длине при установившемся равномерном движении жидкости в трубопроводе определяется по формуле Дарси:

$$h_{\text{ол}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

где:

λ - коэффициент сопротивления трения (коэффициент Дарси);

l - длина трубопровода;

d - внутренний диаметр трубопровода;

v - средняя скорость движения жидкости в сечении трубопроводе;

g – ускорение свободного падения.

Потери напора по длине и коэффициент сопротивления трения, характеризующий эти потери, зависят прежде всего от режима движения жидкости.

При ламинарном режиме движения коэффициент сопротивления трения λ зависит только от числа Рейнольдса и определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}. \quad (2)$$

Подставив выражение (2) в уравнение (1), увидим, что потери напора по длине при ламинарном режиме пропорциональны скорости в первой степени.

При турбулентном режиме движения жидкости коэффициент сопротивления трения λ зависит от гидравлического состояния труб.

Известно, что в турбулентном потоке происходит перемешивание частиц жидкости, при этом интенсивность перемешивания в пределах живого сечения неодинакова. Наиболее интенсивное перемешивание частиц наблюдается в зоне так называемого турбулентного ядра. Вблизи стенок, ограничивающих поток, перемешивание частиц меньше или может полностью отсутствовать. В последнем случае в пристенной зоне наблюдается движение, близкое к ламинарному. Этот пристенный слой называют ламинарным подслоем, а толщину его обозначают δ .

Толщину ламинарного подслоя δ можно определить по формуле [1]

$$\delta = \frac{32,8d}{\text{Re}\sqrt{\lambda}} \quad (3)$$

где:

d - диаметр трубопровода;

Re - число Рейнольдса.

Внутренняя поверхность стенок труб, ограничивающих поток, отличается той или иной шероховатостью, зависящей от материала стенок и характера обработки. Обобщая понятие шероховатости, ее представляют в виде бугорков со средней высотой Δ , мм. Размер выступов этой шероховатости называют абсолютной шероховатостью. Отношение Δ/d называют относительной шероховатостью, отношение d/Δ - относительной гладкостью стенок трубопровода.

В зависимости от соотношения толщины ламинарной пленки δ и абсолютной шероховатости Δ различают:

- 1) гидравлически гладкие трубы, если $\delta > \Delta$;
- 2) гидравлически шероховатые трубы, если $\delta < \Delta$.

Из определений следует, что понятие о гидравлически гладких и гидравлически шероховатых стенках труб является относительным, в зависимости от критерия Re. Одна и та же труба может быть гидравлически гладкой и гидравлически шероховатой.

При турбулентном режиме движения рассматривают три зоны изменения коэффициента сопротивления трения λ .

1. Зона гидравлически гладких труб.

Опытами установлено, что зона гидравлически гладких труб имеет место при:

$$3000 < Re < 20 \frac{d}{\Delta} \quad (4)$$

Для области гидравлически гладких труб коэффициент сопротивления трения λ определяется по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (5)$$

Из приведенной формулы (5) видно, что коэффициент сопротивления трения λ в зоне гидравлически гладких труб зависит от числа Рейнольдса.

Потери напора по длине для этого случая пропорциональны скорости в степени 1,75.

2. Переходная зона.

В переходной области:

$$20 \frac{d}{\Delta} < Re < 500 \frac{d}{\Delta} \quad (6)$$

Коэффициент сопротивления трения λ в переходной области можно определить по формуле Альштуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} \quad (7)$$

Из приведенной формулы (7) видно, что коэффициент сопротивления трения λ в переходной зоне зависит от относительной шероховатости стенок трубы и числа Рейнольдса.

Потери напора по длине для этого случая пропорциональны скорости в степени 1,75~2.

3. Зона гидравлически шероховатости труб.

В области гидравлически шероховатых труб (квадратичной области сопротивления):

$$\text{Re} > 500 \frac{d}{\Delta} \quad (8)$$

Коэффициент сопротивления трения λ в области гидравлически шероховатых труб может быть найден по формуле Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \quad (9)$$

Из формулы (9) видно, что в этой зоне коэффициент сопротивления λ зависит только от относительной гладкости труб.

Потери напора по длине пропорциональны квадрату скорости.

2. Схема опытной установки

Схема опытной установки показана на рис. 1.

Лабораторная установка представляет собой прямую горизонтальную цилиндрическую трубу 1 длиной l с постоянным диаметром d по всей длине. Один конец трубы соединен с источником воды (насосом), а другой подведен к сливному баку. Опытный участок трубы ограничен сечениями, к которым для измерения давления подсоединены пьезометры 2 и 3 с кранами 4 и 6. Расход в опытной трубе измеряется водяным счетчиком расхода воды 5 и регулируется краном 4.

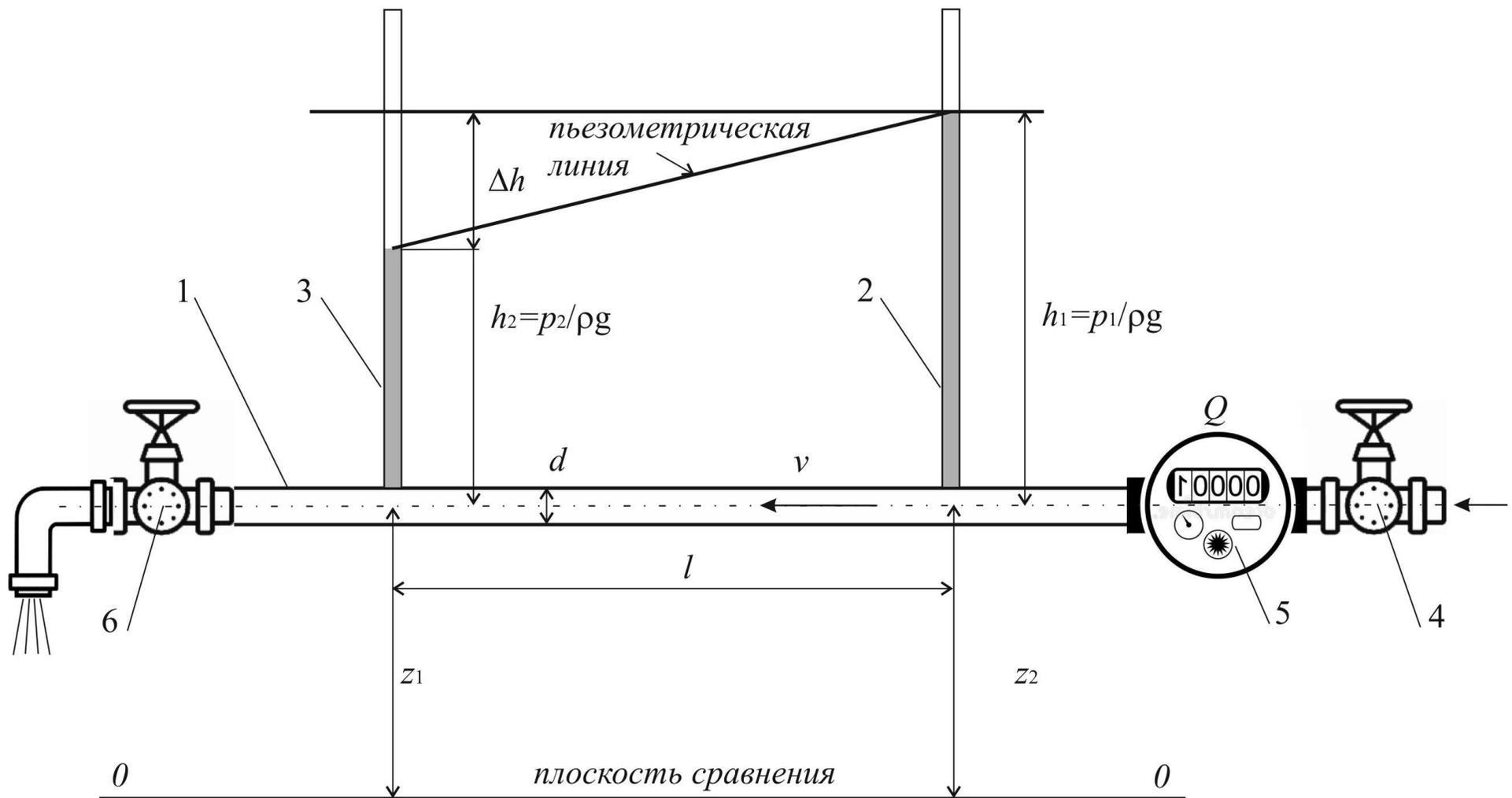


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

3. Порядок выполнения работы

Экспериментальное определение потерь напора в длинном трубопроводе проводится в широком диапазоне изменения критерия Re , чтобы охватить все области гидравлического сопротивления.

Порядок проведения работы принят следующим (рис. 1):

1. В опытном трубопроводе 1 устанавливают некоторый расход воды, для чего открывают кран 6.
2. Краном 4 устанавливают расход воды близкий к зоне гидравлически гладких труб.
3. Проверяют и регулируют работу пьезометров 2 и 3. Нажатием на мягкие трубки пьезометров, удаляют из столба воды воздушные пузырьки.
4. Измерения проводят после того, как в опытном трубопроводе 1 наступит установившееся движение. При этом будет наблюдаться постоянная высота уровней воды в пьезометрах 2 и 3.
5. Снимают показания пьезометров 2 и 3. В каждом опыте отсчеты по пьезометрам берут 3-4 раза. Данные замеров заносят в таблицу 1.
6. Определяют объем воды V по водяному счетчику расхода 5. В каждом опыте отсчеты по водяному счетчику берут за все время t проведения опыта. Данные замеров заносят в таблицу 1.
7. Краном 5 увеличивают расход воды близкий к следующей зоне гидравлического сопротивления.
8. Пункты 3-7 повторяют еще два раза.
9. Результаты измерений по всем опытам заносят в таблицу 2.
10. На схеме установки (рис. 2) в масштабе отмечают показания пьезометров 2 и 3, и проводят пьезометрическую линию.

4. Обработка опытных данных

Обработка опытных данных проводится в следующем порядке:

По данным замеров в каждом опыте вычисляют:

- потери напора $h_{\partial l}$ по длине трубопровода.

Эту величину можно определить из уравнения Бернулли, составленного (рис. 1) относительно любой плоскости сравнения 0-0 для сечений потока, в которых установлены пьезометры 2 и 3.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{\text{от}} \quad (10)$$

При постоянном живом сечении потока в горизонтальном трубопроводе $v_1 = v_2$; $z_1 = z_2$; $\alpha_1 = \alpha_2 \approx 1,0$; тогда уравнение Бернулли (10) примет вид:

$$\frac{p_1}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g} + h_{\text{от}} \quad (11)$$

Из формулы (8) и рис. 1 следует:

$$h_{\text{от}} = h_1 - h_2 = \Delta h \quad (12)$$

Здесь:

h_1, h_2 - показания пьезометров 2 и 3.

Далее устанавливают:

- По расходу воды Q , полученному по данным измерений по водяному счетчику и диаметру трубы d , скорость v движения воды в опытной трубе 1 вычисляют по формуле:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (13)$$

- Опытное значение коэффициента сопротивления трения определяют из формулы (1):

$$\lambda_{\text{опыт}} = \Delta h \frac{d}{l} \cdot \frac{2g}{v^2} \quad (14)$$

- Кинематический коэффициент вязкости воды ν устанавливают из справочника по ее температуре.

- Число Рейнольдса Re вычисляют по формуле:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (15)$$

- Относительную гладкость стенок трубы d / Δ .

В лабораторных опытах используется полипропиленовая труба длиной $l=825$ мм, с внутренним диаметром $d=13,2$ мм. Абсолютная величина шероховатости стенок таких труб $\Delta = 0,007$ мм [2].

- По числу Рейнольдса Re и относительной гладкости стенок трубы d / Δ устанавливают область гидравлического сопротивления в каждом опыте.

- В соответствии с зоной гидравлического сопротивления вычисляют расчетное значение коэффициента сопротивления трения $\lambda_{расч}$ по формулам (5), (7), (9).

- Определяют относительную погрешность в определении $\lambda_{опыт}$ по формуле

$$\frac{\lambda_{расч} - \lambda_{опыт}}{\lambda_{расч}} \quad (16)$$

Результаты всех расчетов заносят в табл. 2.

Список литературы

1. Поминова Г.И. 1. Лабораторный практикум по курсу «Гидравлика и гидравлические машины». - М. : МЛТИ, 1970. - 58 с.
2. РосТурПласт. Российский производитель полимерных труб и фитингов. Технический каталог PP-R. Трубы и соединительные детали для систем горячего и холодного водоснабжения и отопления из полипропилена. 83 стр. – Текст: электронный// [сайт]. – URL: www.osturplast.ru – Режим доступа: Свободный.
4. Лебедев Н.И. Гидравлика, гидравлические машины и объемный гидропривод : Учебное пособие для студ.-заоч. / МГУЛ. - 2-е изд., стереотип. - М. : МГУЛ, 2003. - 232 с.

Таблица 1

Данные замеров и отсчетов по приборам в опыте № 1

№ отсчета	Показание пьезометров относительно плоскости отсчета, м		Потери напора по длине, м	Показание начального объема воды водяного счетчика, м ³	Показание конечного объема воды водяного счетчика, м ³	Объем воды прошедший через водяной счетчик, м ³	Время работы водяного счетчика, с	Расход воды, м ³ /с	Средняя скорость, м/с
	h_1	h_2							
1	2	3	4	5	6	7	6	7	8
1									
2									
3									
Среднее значение									

Данные замеров и отсчетов по приборам в опыте № 2

№ отсчета	Показание пьезометров относительно плоскости отсчета, м		Потери напора по длине, м	Показание начального объема воды водяного счетчика, м ³	Показание конечного объема воды водяного счетчика, м ³	Объем воды прошедший через водяной счетчик, м ³	Время работы водяного счетчика, с	Расход воды, м ³ /с	Средняя скорость, м/с
	h_1	h_2							
1	2	3	4	5	6	7	6	7	8
1									
2									
3									
Среднее значение									

Данные замеров и отсчетов по приборам в опыте № 3

№ отсчета	Показание пьезометров относительно плоскости отсчета, м		Потери напора по длине, м	Показание начального объема воды водяного счетчика, м ³	Показание конечного объема воды водяного счетчика, м ³	Объем воды прошедший через водяной счетчик, м ³	Время работы водяного счетчика, с	Расход воды, м ³ /с	Средняя скорость, м/с
	h_1	h_2							
1	2	3	4	5	6	7	6	7	8
1									
2									
3									
Среднее значение									

Результаты вычислений в опытах

№ п/п	Наименование величин	№№ опытов		
		1	2	3
1	Расход воды Q , м ³ /с			
2	Средняя скорость v , м/с			
3	Потери напора по длине по пьезометрам Δh ($h_{дл}$), м			
4	Коэффициент сопротивления трения по опытным данным: $\lambda_{оп} = \Delta h \cdot d / l \cdot 2g / v^2$			
5	Критерий Рейнольдса*: $Re = v \cdot d / \nu$			
6	Зона изменения коэффициента сопротивления трения λ **			
7	Формула для расчета коэффициента сопротивления трения λ			
8	Коэффициент сопротивления трения, рассчитанный по формуле λ			
9	Относительная погрешность в определении λ %			

* В лабораторных опытах принят коэффициент вязкости воды при температуре 20°C $\rightarrow \nu = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$.

** Справочные значения при определении зоны сопротивления: $20d / \Delta = 37720$; $500d / \Delta = 943000$.

Лабораторная установка

Масштаб 1 : 10

- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____
- 5 _____
- 6 _____

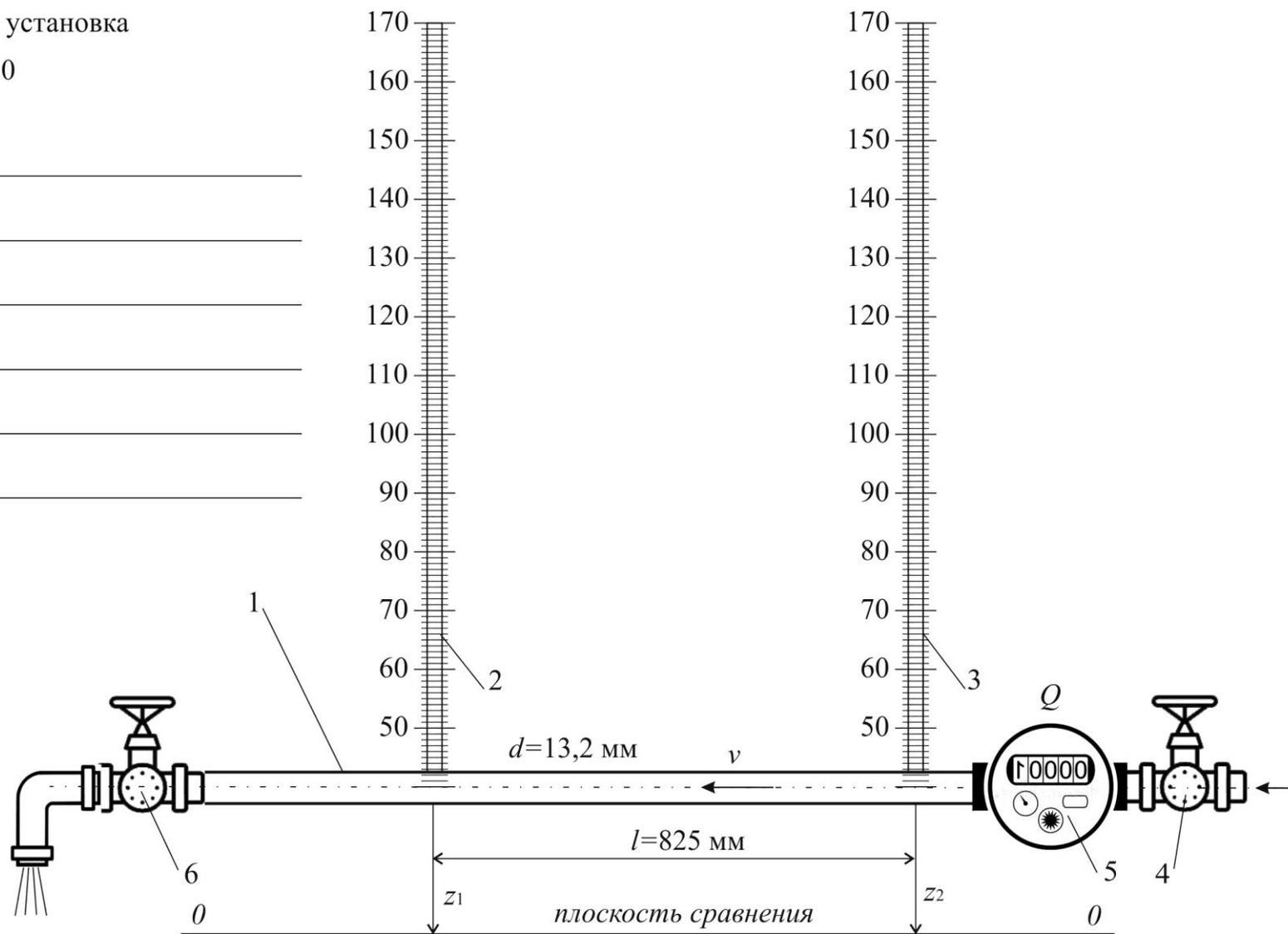


Рисунок 2 – Схема лабораторной установки к определению потерь по длине