



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

**Методические указания**  
для выполнения лабораторной работы  
«Определение коэффициента  
гидравлического трения и потерь  
давления на трение по длине  
трубопровода»  
по дисциплине

**«Отопление»**

Авторы  
Глазунова Е. К.,  
Федоровский В. Г.,  
Галкина Н. И.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Содержатся методические указания по выполнению лабораторной работы, дано теоретическое обоснование опыта, описан метод определения коэффициента гидравлического трения и потерь давления на трение по длине трубопровода.

Практикум предназначен для студентов очной, заочной форм обучения направления 08.03.01 Строительство

## Авторы

к.т.н., доцент кафедры  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»

Глазунова Е.К.,

ст. преподаватель кафедры  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»

Федоровский В.Г.,

к.т.н., доцент кафедры  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»

Галкина Н.И.





## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Теоретические основы .....</b>	<b>4</b>
<b>Порядок проведения работы.....</b>	<b>7</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>9</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Цель работы** – экспериментальное определение коэффициента трения и потерь давления на трение по длине трубопровода. Сравнение экспериментальных значений с расчетными, полученными по полуэмпирическим и эмпирическим формулам.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Движение вязкой жидкости по трубам и каналам всегда сопровождается

трением, на преодоление которого затрачивается часть механической энергии потока. В ходе работы против сил трения эта часть энергии преобразуется в теплоту и рассеивается в окружающей среде. В результате полный напор, то есть удельная механическая энергия, вдоль потока уменьшается. Падение полного напора, которое наблюдается на участках трубопроводов с установившимся равномерным движением жидкости, называют потерями напора на трение или потерями напора по длине потока (линейные потери давления)  $\Delta p_{\text{тр}}$ . Потери напора по длине в общем случае зависят от диаметра трубы  $d$  и её длины  $l$ , от скорости течения  $V$ , свойств жидкости (плотности  $\rho$  и вязкости  $\mu$ ), а также от шероховатости стенок, которая, в свою очередь, зависит от материала, из которого изготовлена труба.

Основной расчётной формулой для определения потерь напора по длине

является формула Дарси-Вейсбаха [1]:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2 \rho}{2} l_{\text{уч}} , \quad (1)$$

где  $\lambda$  - безразмерный коэффициент гидравлического трения.

Эта формула применяется как для турбулентного, так и для ламинарного режимов течения.

Для ламинарного режима течения

$$\lambda = 64 / \text{Re}, \quad (2)$$

где  $\text{Re}$  – число Рейнольдса

$$Re = \frac{v d}{\mu}, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость, м/с;

$d$  – диаметр, м;

$\mu$  – кинематическая вязкость воды, зависящая от температуры, м<sup>2</sup>/с (таблица 1).

Значения  $\lambda$ , получаемые по этой формуле, с большой точностью подтверждаются многочисленными опытами. Из приведенного выражения видно, что в области ламинарного режима (т.е. при  $Re < 2320$ )  $\lambda$  не зависит от шероховатости стенок.

Таблица 1– Кинематическая вязкость воды, в зависимости от температуры

Температура воды, °С	Кинематическая вязкость воды, (м <sup>2</sup> /с)·10 <sup>-6</sup>
30	0,801
40	0,658
50	0,658
60	0,475
70	0,413
80	0,365
90	0,326
100	0,294

При турбулентном режиме течения величина  $\lambda$  зависит, в общем случае, от числа Рейнольдса и от относительной шероховатости  $k/d$ , где под относительной шероховатостью понимается отношение абсолютной шероховатости  $k$ , мм, к диаметру трубы  $d$ , мм.

Для определения  $\lambda$  существует ряд эмпирических формул.

Область турбулентного течения делится на три области сопротивления. В первом случае ламинарный слой полностью покрывает неровности шероховатой стенки, и они не оказывают влияния на турбулентно движущуюся часть потока. Этот случай соответствует области гидравлически гладких труб.

Для гидравлически гладких труб применяется формула Блазиуса

[1]

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0.25}} \quad (4)$$

Во втором случае выступы на шероховатой стенке начинают воздействовать на основную турбулентную часть потока, внося в этот поток дополнительные возмущения. При этом по мере уменьшения толщины ламинарного слоя с ростом  $\text{Re}$  или увеличения абсолютной шероховатости выступы неровностей на стенках трубы все в большей степени возмущают турбулентный поток и препятствуют его движению. Данный случай отвечает переходной области, в которой  $\lambda$  зависит как от числа Рейнольдса, так и шероховатости. Для определения  $\lambda$  в этой области используют универсальную формулу Альтшуля, которая справедлива во всей зоне турбулентного режима течения [1]

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{k_{\text{эк.}}}{d_{\text{вн.}}} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0.25} \quad (5)$$

Третья характерная область в зоне турбулентного режима течения - это область так называемых гидравлически вполне шероховатых труб. При больших значениях числа  $\text{Re}$ , когда толщина ламинарного слоя становится намного меньше высоты неровностей, можно считать, что выступы шероховатости полностью оказываются в области турбулентного течения. По этой причине степень возмущения турбулентного потока неровностями стенки становится максимальной. В этой области  $\lambda$  перестает зависеть от  $\text{Re}$  и для трубы с определенной относительной шероховатостью становится постоянной величиной.

В области вполне шероховатых труб коэффициент  $\lambda$  может быть определен по формуле Шифринсона [1]

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_{\text{э}}}{d} \right)^{0.25}, \quad (6)$$

где  $k_{\text{э}}$  – эквивалентная шероховатость.

Понятие «эквивалентная шероховатость» было введено в связи с тем, что при одной и той же абсолютной шероховатости

(средняя высота выступов шероховатости), коэффициент  $\lambda$  может иметь разную величину в зависимости от формы выступов, густоты и характера их расположения и т.д. Под «эквивалентной шероховатостью» понимают такую высоту выступов шероховатости, которая дает при подсчетах одинаковую с заданной шероховатостью величину коэффициента гидравлического трения [1].

Часто для расчета водопроводных труб используется эмпирическая формула Маннинга

$$\lambda = \frac{124,6 m}{\sqrt[3]{d}} \quad (7)$$

где  $m$  - коэффициент шероховатости, принимаемый обычно для водопроводных труб равным 0,012.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1 На лабораторная установке [2], выполненной из металлополимерных Rehau RAUTITAN Stabil,  $d = 25 \times 3,7$  с абсолютной шероховатостью  $k=0,07$  мм, выделить прямолинейный мерный участок трубы длиной  $l$ , м.

2 При помощи насоса установить максимальный расход воды.

3 Снять показания манометров в начале и конце участка (поз.73, 74), одновременно фиксируя температуры и расход с помощью теплосчетчика (поз. 46).

Первый опыт проводится при максимальном расходе, при этом перепад давлений на манометрах  $\Delta p = p_1 - p_2$  будет наибольшим. При переходе к каждому следующему опыту расход изменить в сторону уменьшения и т.д.

4 Все измеренные величины заносятся в протокол испытаний (таблица 2)

Таблица 2 – Протокол испытаний

	Обозначение	Размерность	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
1	2	3	4	5	6

## Отопление

Расход теплоносителя	G	кг/ч			
Площадь поперечного сечения трубы	A	м <sup>2</sup>			
Средняя скорость воды	v	м/с			
Температура воды	t	°С			
Кинематический коэффициент вязкости	μ	(м <sup>2</sup> / с) · 10 <sup>-6</sup>			
Число Рейнольдса	Re	–			
Показание манометра в начале участка	p <sub>1</sub>	Па			
Показание манометра в конце участка	p <sub>2</sub>	Па			
Потери на трение	Δp	Па			
Коэффициент трения опытный	λ	–			
Относительная шероховатость	λ/d	–			
Область сопротивления					
Коэффициент трения расчетный	λ <sub>1</sub>	–			
Коэффициент трения расчетный	λ <sub>2</sub>	–			

5 Вычисляются значения  $\lambda_{расч1}$ , и  $\lambda_{расч2}$  по формулам Альтшуля (5) и Маннинга (7) и сравниваются со значениями  $\lambda_{оп.}$ , полученными в данной работе.

6 Делается вывод о степени совпадения экспериментально найденных значений  $\lambda$  со значениями, полученными по формулам Альтшуля  $\lambda_{расч1}$ , и Маннинга  $\lambda_{расч2}$ .



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е перераб. и доп. М.:Стройиздат, 1975. – 323 с.
2. Методические указания для выполнения лабораторной работы «Изучение основных элементов систем отопления, контрольно-измерительной и регулирующей арматуры» – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2018. – 16 с.
3. Техническая информация. Радиаторное и напольное отопление RENAU.